



ÍNDEX

Índex	1
1. Introducció	3
1.1 Antecedents	3
1.2 Objecte	4
1.3 Abast i especificacions	4
2. Problemàtica	5
3. Metodologia	7
3.1 Teoria fonamental	7
3.1.1 Atenuació del so per efecte del terreny	7
3.1.2 Teoria de rajos de propagació	9
3.2 Instrumentació i material	10
3.2.1 Sonòmetres	10
3.2.2 Micròfon	11
3.2.3 Font d'emissió	11
3.2.4 Grup electrogen	12
3.3 Consideracions a tenir en compte en les mesures	13
3.3.1 Calibració dels sonòmetres	13
3.3.2 Registre temporal	14
3.3.3 Comprovació del registre temporal i l'estabilitat de la font d'emissió	14
3.3.4 Inversió tèrmica	15
3.3.5 Soroll de fons	15



3.4	Realització de les mesures.....	16
3.4.1	Muntatge de l'experiment.....	16
3.4.2	Descripció de l'experiment.....	17
3.5	Paràmetres de mesura acústica.....	18
3.6	Determinació de les potències acústiques.....	19
3.7	Tractament de dades.....	21
3.8	Simulacions amb el programari Cadna.....	23
4.	Resultats del model predictiu.....	28
5.	Resultats experimentals.....	30
5.1	Estudi del sòl de Vilablareix tipus formigó.....	31
5.2	Estudi del sòl de Vilablareix tipus terra compacte.....	35
5.3	Estudi del sòl de Cassà de la Selva tipus camp terra.....	39
5.4	Estudi del sòl de Cassà de la Selva tipus camp herba.....	43
5.5	Estudi del sòl de Cassà de la Selva tipus pineda.....	47
5.6	Estudi del sòl de Cassà de la Selva tipus bosc abrupte.....	51
5.7	Comparació dels sòls estudiats.....	55
5.8	Optimització del coeficient d'absorció.....	57
6.	Conclusions.....	60
7.	Recomanacions.....	64
8.	Resum pressupost.....	65
9.	Bibliografia.....	66
10.	Annexos.....	68



1. INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

En la nova construcció d'infraestructures de transport, l'impacte acústic ha esdevingut a Catalunya, des de l'aprovació de la llei 16/2002 de protecció contra la contaminació acústica, un dels aspectes més importants i que s'ha de tenir especialment cura de complir.

Dins l'avaluació de l'impacte acústic, la tècnica per excel·lència és la de la predicció acústica. La predicció acústica té dos grans fases d'aplicació: la primera destinada a la predicció de la potencia acústica de les infraestructures de transport, que ha estat molt estudiada i millorada i una segona fase d'aplicació de propagació del soroll a l'ambient.

En aquesta segona fase és on radica la problemàtica en el que fa a la predicció acústica. El fet és que la propagació acústica és un fenomen que es coneix bé, on es poden trobar equacions ben desenvolupades. Malgrat això, un dels punts menys clars en la seva implementació és l'atenuació acústica, no tant en la descripció física del fenomen, sinó en la determinació dels coeficients reals per a la seva avaluació, bàsicament el coeficient d'absorció.

Aquests aspectes que es remarquen són de gran importància per la predicció acústica al voltant d'infraestructures de transport ja que es tracten de la influència del sòl en l'atenuació del so quan ens trobem a distàncies que comencen a ser importants (a partir de 25 metres).

D'aquesta manera, la desconexió del coeficient d'absorció dels terrenys adjacents en infraestructures de transport, que la norma ISO9613 defineix com a coeficient G, suposa un dels principals problemes en els models de predicció acústica en propagació a llargues distàncies.



1.2 Objecte

L'objecte del present projecte és desenvolupar un catàleg pels tipus de sòls més comuns sobre quins són els coeficients d'absorció més adequats i avaluar l'error que es dona en els càlculs de propagació a llargues distàncies, que en ambients urbans no es poden donar i per tant no solen ser un problema.

1.3 Abast i especificacions

L'abast del projecte comprendrà sòls plans, tant de tipus reflectants com absorbents que típicament es poden trobar al voltant de les infraestructures de transport i distàncies de propagació de 25 metres fins als 150 metres.



2. PROBLEMÀTICA

Des de fa uns anys cap ençà, els inconvenients de la contaminació acústica s'estan fent palès en els mitjans de comunicació i la societat demana tenir les mateixes infraestructures i que a més es disminueixi aquesta contaminació acústica. Un dels grans sectors que provoca aquesta contaminació acústica és el sector del transport i és en aquest on la prevenció acústica té un gran pes.

En aquest sector, cada projecte d'infraestructures de transport conté un apartat amb un informe de prevenció acústic. Dins d'aquest apartat hi ha dues grans fases encarregades d'aquesta prevenció: la primera s'encarrega de la predicció de la potència acústica de les infraestructures de transports i la segona s'encarrega de la propagació del soroll a l'ambient. La part que s'ocupa en aquest projecte és la segona, mentre que la primera és la de determinar quina potència acústica emetrà la infraestructura en concret.

Malgrat en cada infraestructura de transport hi ha un informe per tal de disminuir la contaminació acústica, en plena ciutat difícilment hi ha instruments per tal de fer baixar uns decibels, mentre que en xarxes de comunicació que estan una mica allunyades de la població (més 25 metres) sí que existeixen més instruments per tal d'aconseguir baixar uns decibels o fer que una infraestructura pugui complir la legislació de màxim soroll captat en un habitatge pròxim.

Un factor que té una importància considerable en l'absorció del soroll és el tipus de sòl que hi ha al voltant de les infraestructures. Tant és així que la diferència de soroll captat a 50 metres de distància entre dos sòls diferents pot arribar a ser de més de 5 decibels. Aquesta diferència és causada pel diferent coeficient d'absorció del terreny (simbolitzat en la normativa ISO com a G). Per tant, alhora de realitzar una predicció del so que arribarà a un cert indret a causa d'una infraestructura concreta, serà de gran importància conèixer el coeficient d'absorció del terreny.

Malgrat la importància d'aquest coeficient d'absorció, no hi ha cap catàleg, ni eina que faciliti la determinació del coeficient d'absorció que li pertoca a cada tipus de terreny, sinó que es menciona que aquest coeficient val entre 0 i 1. Pels terres més reflectants el coeficient que li pertoca és 0, mentre que pels terres més absorbents aquest coeficient d'absorció té un valor de 1.

Així doncs, es dóna una indicació dels valors que ha de prendre el coeficient d'absorció, però no donen cap tipus d'informació sobre el valor concret dels sòls



excepte que el $G=1$ s'ha de donar a un sòl de màxima absorció acústica, que es podria identificar per exemple com a un tipus selva tropical, però que podria ser assolit per tipologies no tan denses i que $G=0$ s'ha de donar a un sòl tipus reflectant perfecte, com per exemple formigó, ben llis i sense imperfeccions. Així per fer qualsevol predicció s'ha de triar el coeficient corresponent entre 1 i 0, sense un criteri massa definit, assumint l'error que es pugui fer i tenint en compte que depenen del sòl pot arribar a ser no despreciable.

Conseqüentment al comentat, en aquest present treball es realitzarà l'estudi de diferents tipus de terreny per tal de poder donar un coeficient d'absorció del terreny a diferents tipus de sòls, a partir de mesures reals, disminuint la incertesa de determinar els coeficients d'absorció en futurs projectes. Aquests tipus de sòls es trien pensant que són els sòls més comuns que es poden trobar al voltant de les diferents xarxes de comunicació, a les comarques Gironines.



3. METODOLOGIA

Metodològicament, l'objectiu per tal de caracteritzar els coeficients d'absorció de diferents sòls és realitzar mesures in-situ, en indrets afectats per diferents sòls i comparar aquests valors reals amb les prediccions que realitza un model matemàtic que implementa la norma ISO 9613. D'aquesta forma es poden ajustar els coeficients d'absorció, per tal que la predicció descrigui perfectament (o el més perfectament possible) el fenomen de transmissió amb absorció i d'aquesta manera identificar directament els coeficients d'absorció més òptims per cada indret de mesura. Finalment, es podran ordenar-los qualitativament configurant el catàleg objecte d'aquest estudi i descrivint els criteris i comportaments d'aquests coeficients.

3.1 Teoria fonamental

Per tal de poder realitzar l'estudi dels coeficients d'absorció dels diferents terrenys i poder fer-lo en plenes garanties, es necessita abans tenir unes nocions bàsiques d'acústica i de la propagació del so (veure annex A). A part de conèixer aquestes nocions bàsiques, hem de conèixer quin conceptes teòrics fonamentals intervindran alhora de fer els diferents experiments per determinar els coeficients d'absorció en qüestió. Aquests conceptes són l'atenuació del so per efecte del terreny i la teoria de rajos de propagació.

3.1.1 Atenuació del so per efecte del terreny

En la propagació del so, hi ha diverses atenuacions que afecten a aquest i fan que el so perdi energia i conseqüentment, una disminució de pressió sonora (disminueixen els decibels). De totes les atenuacions que hi ha (veure Annex A), l'atenuació per l'efecte sòl és en la que es centrarà el present estudi perquè mentre que la majoria d'elles són bastants clares pel que fa a la seva aplicació a nivell predictiu, en l'atenuació per efecte sòl, com que hi intervé el coeficient d'absorció, la seva determinació esdevé fonamental.

L'atenuació produïda per l'efecte sòl és a causa de la presència d'un determinat terreny que provoca que el sòl actuï com un obstacle sòlid; reflectant una part de l'ona acústica mentre l'altre part és absorbida. La relació per saber quina part de l'ona és absorbida i quina reflectida la dona el coeficient d'absorció del terra on aquest coeficient agafa valors entre 0, si és 100% reflectant i 1 si és 100% absorbent. No



obstant, aquesta atenuació serà important quan el so es propagui a distàncies llargues (més de 25 metres).

En aquest punt és on hi ha els problemes d'aquesta atenuació ja que no se sap quin valor s'ha d'utilitzar per diferents terrenys ja que no hi ha cap tipus de "handbook" o document similar, on es pugui anar a buscar una relació entre qualsevol tipus de terra amb el coeficient d'absorció. A més, encara que les prediccions i les mesures es faran en terreny sec, s'ha d'incidir que en el mateix terreny, si està sec o està moll el coeficient d'absorció variarà.

Per tal de veure la influència que té aquest coeficient en la pressió sonora que es captarà, es mostra un seguit de simulacions on en la primera simulació es té un coeficient d'absorció igual a 1 ($G=1$, terreny molt absorbent) i en la segona simulació es té un coeficient d'absorció igual a 0 ($G=0$, terreny molt reflectant).

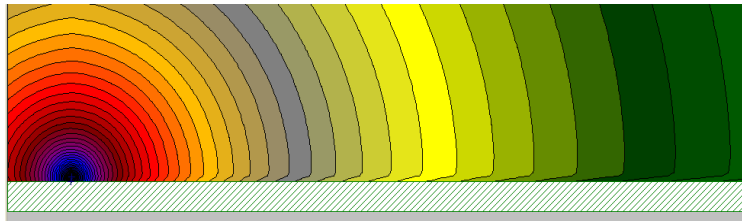


Figura 1: Coeficient d'absorció igual a 1

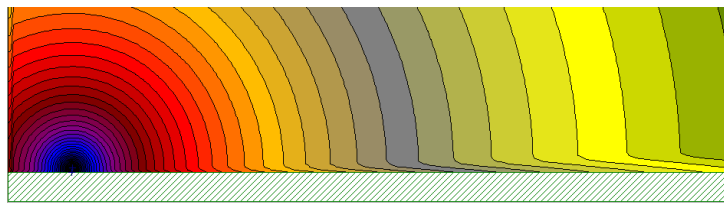


Figura 2: Coeficient d'absorció igual a 0

Observant les dues figures anteriors es pot observar com l'efecte del coeficient d'absorció només té importància a una cota propera al sòl on amb una $G=1$ tenim valors més baixos a una distància més propera (retrocés de la línia de pressió sonora) que amb $G=0$ (allargament de la línia de pressió sonora). Cal tenir present, que a partir d'uns 3 metres d'alçada aquest coeficient G ja no tindrà influència en predir la pressió sonora i per trobar el nivell de pressió sonora s'utilitzarà les lleis de propagació acústica.

S'ha de mencionar que l'escala entre les imatges no és la mateixa i per aquest motiu no els colors no concorden amb la distància.



3.1.2 Teoria de rajos de propagació

La teoria de rajos de propagació és un altre concepte fonamental per tal de poder realitzar l'estudi. Abans de començar pròpiament explicant la teoria de rajos, s'ha de recordar que el so és una pertorbació (vibració mecànica) que es propaga per un medi elàstic. A més, el so es propaga en forma d'ona de forma multidireccional a partir de la font d'emissió, segons el principi de Huygens.

La teoria de rajos és la més utilitzada quan es vol realitzar prediccions a distàncies grans sobre quin valor de pressió sonora es tindrà en un determinat punt. De la font sortiran un nombre infinit de raigs cap el punt on hi haurà el sonòmetre per captar la pressió sonora, dels quals no tots són significatius. A grans trets es pot diferenciar el raig directe (aquell més curt entre emissor i receptor si no hi ha cap obstacle entremig), que serà el més important, de la resta de raigs reflectits, que segons l'ordre de reflexió tindran una importància decreixent.

El primer i principal serà el raig directe. Aquest raig es regirà per les equacions que es poden trobar en el fonament teòric de l'annex A i tindrà la seva atenuació amb els diferents conceptes mencionats en el mateix annex. És important que en els llocs seleccionats no hi hagi cap impediment físic que obstaculitzi que el raig vagi directe. No obstant, en algun cas potser no serà possible, però es realitzarà igualment i es tindrà en compte alhora de extreure les conclusions. Això és així perquè en aquest projecte no hi intervindrà el tema de la reflexió.

El segon raig arribarà al nostre punt on es capta el soroll de forma indirecte. Aquest raig arribarà al sonòmetre rebotant contra el terra. En aquest punt és on regeix tot el cas del nostre estudi ja que depenen del tipus de terra arribarà amb un nivell de pressió sonora més elevat o menys.

Per tal de fer el càlcul del segon raig, es seguirà les mateixes equacions que el primer raig encara que en aquest s'haurà de tenir en compte el coeficient d'absorció i s'haurà d'aplicar al valor de pressió sonora d'aquest raig el coeficient d'absorció del terreny que li correspongui. Així, si el coeficient d'absorció és igual a 0, el valor de pressió sonora trobada pel segon raig es deixaria igual, si és igual a 1, el valor de pressió sonora del raig seria igual a 0 i si el valor de pressió sonora està entre 0 i 1, és multiplicaria el valor de pressió sonora obtingut per 1 menys el coeficient ($1-G$). No obstant, aquest càlcul del segon raig és hipotètic ja que no es té els coeficients



d'absorció dels diferents terres i si es tinguessin, els càlculs es farien amb un programari de simulació que només s'hauria de dir el valor del coeficient d'absorció.

Així la suma dels dos rajos serà el valor de pressió sonora que capta el sonòmetre i variarà depenen de com absorbent sigui cada terra. No obstant s'ha de tenir en compte que la importància d'aquest segon raig és a partir de tenir el nostre punt on captem el soroll a una distància gran (a partir de 25 metres).

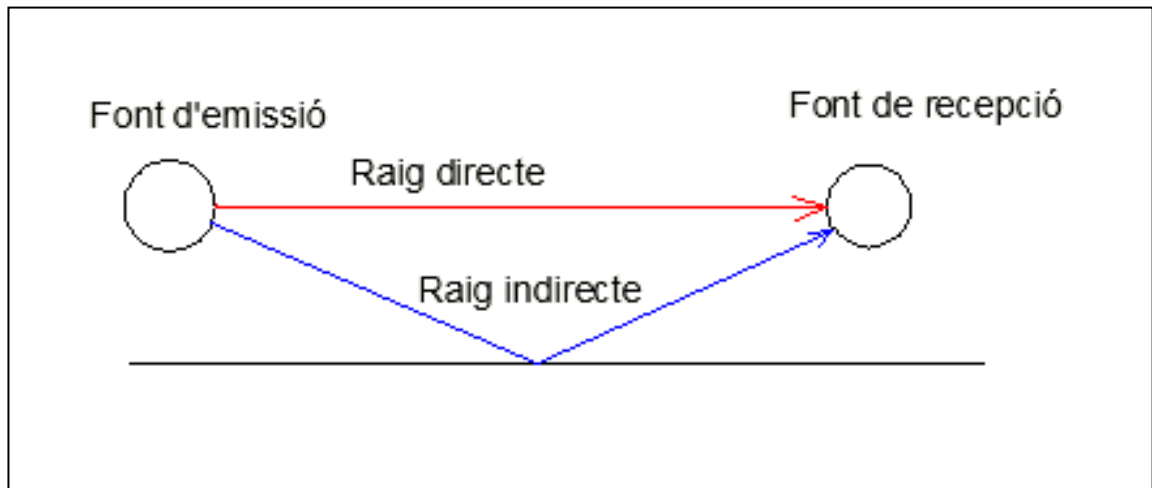


Figura 3: Esquema de la teoria de rajos

3.2 Instrumentació i material

Per la realització de les diverses mesures que es duran a terme, es necessari un seguit d'aparells. Tot seguit es mencionaran aquests aparells i es justificarà la tria d'aquest envers d'altres que es poguessin seleccionar.

3.2.1 Sonòmetres

Per a realitzar les mesures i de la forma en que es faran es necessiten 2 sonòmetres. Aquests dos sonòmetres són els que disposa el grup de recerca GREFEMA i són de la marca Cesva.

Aquests dos sonòmetres no seran iguals, sinó que un és el SC30 (model més antic), mentre que l'altre és el SC310. No obstant, encara que no siguin iguals, els dos són aptes per a la realització de mesures de precisió, ja que són sonòmetres del tipus 1 (veure annex A). A més, a l'hora de realitzar les mesures, es sincronitzaran els rellotges interns i es posarà la configuració a 1 registre cada segon.

Per veure més característiques d'aquests sonòmetres veure les fitxes tècniques d'aquests que es troben a l'annex C.



3.2.2 Micròfon

El micròfon és l'element principal del sonòmetre i, del qual aquest en depèn, ja que té per missió transformar les ones acústiques en ones elèctriques. De tipus de micròfons n'hi ha de moltes classes i de diverses mides.

El micròfon que s'utilitza en els dos sonòmetres és el que ve en el conjunt del sonòmetre, calibrador i micròfon. Aquest micròfon és del tipus de micròfon de condensador de diafragma metàl·lic. La mida del micròfon és de 1/2" pel que fa al diàmetre.

Es tria aquest micròfon envers d'un altre perquè els micròfons d'aquest tipus presenten bones propietats pel que fa al ample rang dinàmic i bona resposta en amplitud a diferents freqüències i estabilitat a llarg termini. La mida del diàmetre es tria aquesta perquè micròfons de menor diàmetre, aquests tenen una sensibilitat més petita, però amb un rang de freqüències més elevat cosa que no és interessant, mentre que micròfons més grans tenen una sensibilitat més elevada, però una menor capacitat de discriminació freqüencial.

3.2.3 Font d'emissió

La font d'emissió que s'utilitza és de la marca Cesva. En aquesta font d'emissió hi ha un generador de soroll (AP600) i un altaveu omnidireccional (BP012).

El generador de soroll (AP600) és un conjunt format per un generador de soroll rosa i blanc amb un amplificador de potència. Aquest generador de soroll està especialment dissenyat per ser reproduït pel l'altaveu omnidireccional BP012.



Figura 4: Generador de soroll AP600



L'altaveu omnidireccional (BP012) és un conjunt de 12 altaveus posats en un bafle dodecaedre que assegura una emissió omnidireccional del soroll reproduït complint les normes de directivitat establerts en les normatives ISO 140 i ISO 3382.



Figura 5: Altaveu omnidireccional BP012

Per veure més característiques de la font d'emissió es poden trobar a les fitxes tècniques.

3.2.4 Grup electrogen

El grup electrogen utilitzat és de la marca Honda, concretament el model gsx720 (<http://engines.honda.com/models/model-detail/gx270>). S'utilitza un grup electrogen ja que a la ubicació on es realitzen les mesures no hi disponibilitat de connectar la nostra font i no es tria una altre ubicació amb disponibilitat a endollar la nostra font perquè això indicaria la proximitat d'algun edifici i la possible interacció amb els rajos acústics (hi hauria més de dos rajos). Aquest model té una potencia de 9 cV, molts més alta del que es necessiten per alimentar la font d'emissió. S'agafa aquesta potencia per tal de que quan es connecti a la font d'emissió, el grup electrogen no vari el soroll que fa. A més, amb aquesta mesura el que permetrà és que es podrà determinar la potencia acústica del grup electrogen.



3.3 Consideracions a tenir en compte en les mesures

En la realització de les mesures que es duen a terme s'ha de tenir unes consideracions tant en el moment de fer-les com en el tractament d'aquestes per tal de poder garantir que s'obtenen uns bons resultats. En aquest apartat de l'estudi es comenta els aspectes metodològics que seran de general aplicació per a totes les mesures i tractaments.

3.3.1 Calibració dels sonòmetres

Els sonòmetres es calibraran a 93.9 decibels, malgrat el calibrador crea un camp acústic de 94 dB a 1000 Hz, aquesta correcció s'aplica de forma genèrica als micròfons de camp lliure, per quantificar la seva pèrdua de directivitat en funció de la direcció del camp acústic.

El nivell de calibració s'haurà de controlar que al final de les mesures no s'hagi desviat més de 0,3 decibels. Aquest fet és important ja que amb la temperatura els valors poden variar fàcilment i si el dia en que es fa les mesures és un dia molt assolellat, i a aquest li toca directament el sol, pot passar que el sonòmetre s'escalfi molt i encara que la temperatura ambient no sigui alta, la del sonòmetre sí que ho pot ser. Aquest efecte fa que el sonòmetre mesuri menys del que li tocava.



Figura 6: Calibrador dels sonòmetres

3.3.2 Registre temporal

El registre temporal d'un conjunt de mesures és molt important ja que ens informará de com són les dades que s'han captat. Aquest registre temporal ens dirà si el comportament de les dades són estables, és a dir que no hi hagi pics ni cap pertorbació molt important o si per contra es veuen importants variacions. Si hi ha moltes variacions ens indicarà que hi ha algun soroll extern que afecta a aquestes mesures, donat que la font de soroll és estable.

Per tal de considerar que les mesures són aptes per al seu estudi el comportament haurà de ser estable o bastant estable, que entre el màxim i mínim no superi més dels 2 dB. Tanmateix, pertorbacions més importants i puntuals requeriran ser eliminades manualment del registre, per tal que els valors mitjos no en quedin afectats.

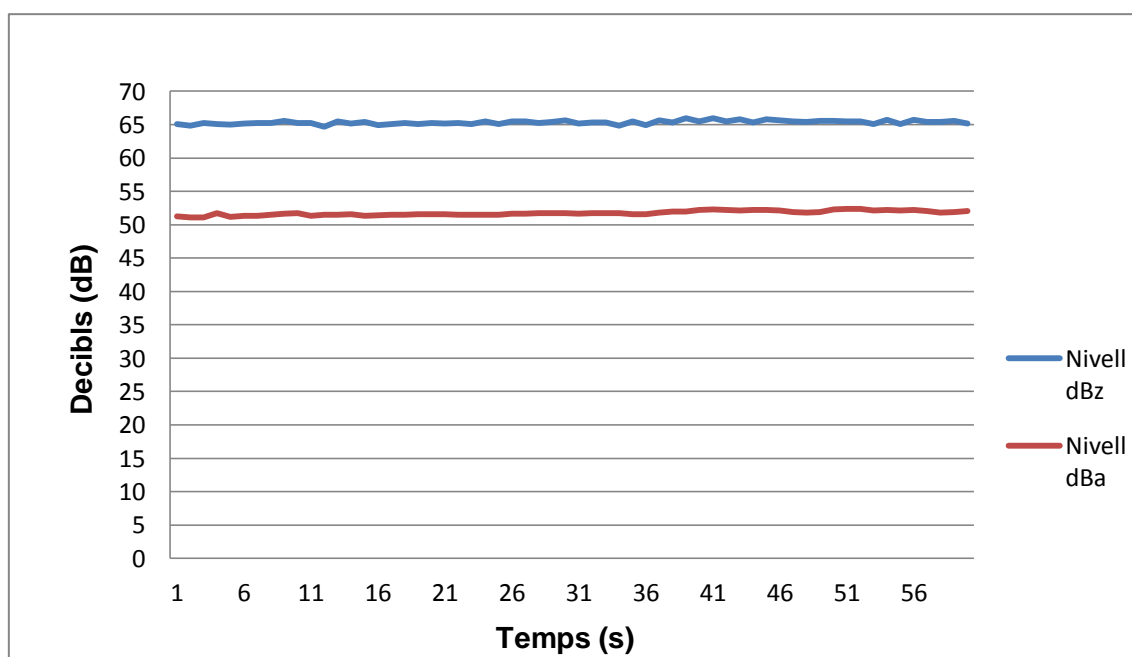


Figura 7: Registre temporal normal

3.3.3 Comprovació del registre temporal i l'estabilitat de la font d'emissió

La comprovació del registre temporal és molt important per tal de poder garantir que quan el registre temporal no és el correcte en la mesura més allunyada, poder afirmar que no és a causa de la font d'emissió. Això es garanteix gràcies a les dades que es tindran d'una mesura fixe a una distancia de referència, que monitoritzarà que l'emissió acústica sigui sempre raonablement constant, donat que en aquesta mesura el soroll de fons té molt poca influència a causa del alt nivell acústic produït per la font d'emissió.



Aquesta estabilitat la trobarem mirant tots els registres temporals de la mesura de referències i que en totes elles el valor captat de nivell de pressió sonora equivalent amb una constant d'integració de 1 segon, tingui unes variacions inferiors a 2 dB.

3.3.4 Inversió tèrmica

La inversió tèrmica, encara que sembli que no hauria d'afectar gaire als valors acústics, és un fenomen que hi afecta molt, tant és així que pot fer variar un soroll de fons més de 10 decibels. Això és a causa de que la inversió tèrmica condiona el grau de curvatura dels raigs acústics, provocant un efecte de reforç, donat que els rajos que haurien d'anar cap a l'atmosfera i dissipar-se allà, els fa que es corbin i es direccionin cap a terra. Aquest fet fa que augmenti considerablement els valors acústics a nivell de terra. Les mesures que s'han realitzat, s'ha procurat que estiguin fetes al migdia per tal que les capes de l'atmosfera tinguin una temperatura estable i no es formi la inversió tèrmica, que s'ha observat i evitat en alguns grups de mesures.

Aquest efecte, al augmentar el soroll de fons de l'indret a mesurar, ens condiona el rang dinàmic de la mesura, fet que limita la distància a la qual es poden realitzar les mesures i els registres.

3.3.5 Soroll de fons

L'últim concepte que s'haurà de tenir en compte quan s'obtinguin els resultats és el que el soroll de fons no sigui molt elevat i es pugui arribar a comparar amb el soroll de fons captat. Aquest problema ens pot passar quan estiguem a 150 metres ja que el soroll captat ja s'haurà atenuat bastant. El marge per poder considerar que no interfereix és d'uns 10 decibels.

Tanmateix, per nivells de soroll de fons per sobre de 10 dB respecte els nivells equivalents mesurats, fins a 3 dB, el nivell de soroll de fons es té en compte restant-lo del nivell equivalent.

En el present projecte, de forma sistemàtica s'ha tingut en compte sempre el soroll de fons, independentment del seu nivell relatiu a la mesura.



3.4 Realització de les mesures

En aquest apartat es descriurà com es realitzaran les diferents mesures que es duran a terme en l'estudi en qüestió. En aquestes mesures el que es voldrà obtenir serà la pressió sonora causada per la font de soroll més el grup generador que alimentarà la font d'emissió. A més, es descriurà com es farà el muntatge per tal de realitzar aquestes mesures.

3.4.1 Muntatge de l'experiment

Abans de descriure com es faran els experiments i de quines dades es voldran obtenir, es descriu com es munta l'experiment per a realitzar les mesures ja que aquesta disposició s'ha de mantenir per a tots els experiments.

Primerament el grup electrogen estarà posat juntament amb la font d'emissió i es posarà de manera que la direcció de sortida del sistema d'escapament, es trobi en sentit contrari al de realització de les mesures.



Figura 8: Muntatge del grup i la font d'emissió



Una altre consideració que s'ha de tenir en compte és a l'hora de connectar el grup amb la font d'emissió. Aquest fet és important per tal d'evitar que hi hagi qualsevol problema amb la font. El procediment serà el d'engegar el grup electrogen i un cop aquest estigui estabilitzat, es connectarà amb la font d'emissió, més concretament amb el generador de soroll. Tot seguit, ja es podrà engegar el generador de soroll i posar el mode que sempre s'utilitzarà.

3.4.2 Descripció de l'experiment

Els experiments que es duran a terme per tal d'obtenir les mesures constaran de dos sonòmetres. El primer sonòmetre es col·loca a 6 metres, mentre que l'altre sonòmetre es col·loca a la distància en la que es vulgui captar les dades. Aquestes distàncies en la que es col·loca l'últim sonòmetre varia des de 25 metres fins els 150 metres on a més es realitzaran mesures intermitges a 50 metres i 100 metres.

Les mesures es realitzaran en sonòmetre i a una alçada de 1,5 m sobre el nivell del terra. La font de soroll està situada a una alçada de 1,7 metres mentre que el grup està a una alçada de 0,2 metres. Totes les mesures incorporaran pantalla antivent.

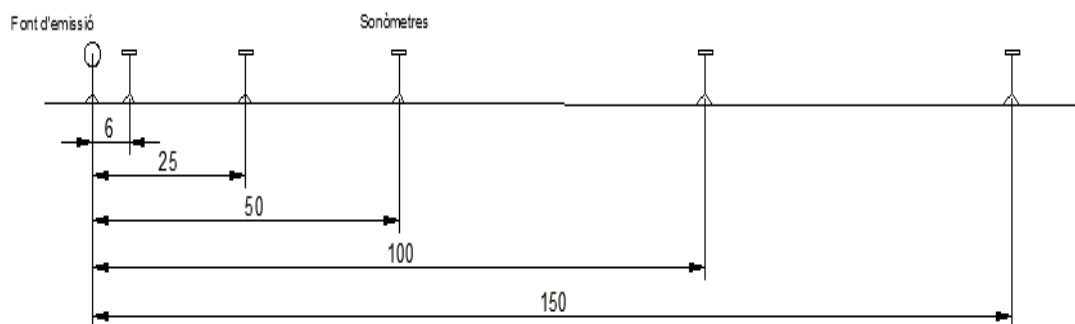


Figura 9: Distribució de les mesures

La disposició de tenir dos sonòmetres en l'experiment és d'aquesta forma perquè així es pot determinar varis fenòmens. Primerament permet determinar quan un soroll de fons intervé en la mesura ja que el primer sonòmetre no tindrà pertorbació a causa d'estar molt a prop de la font d'emissió. Conseqüentment, per aquest sonòmetre el soroll de fons comparat amb de la font d'emissió és considerarà un soroll negligible, mentre que en el segon sonòmetre, si el soroll de fons és considerable respecte el soroll captat en el sonòmetre, si que hi haurà pertorbacions (es considera que el soroll de fons serà variable ja que si és constant i és un nivell elevat s'escoltarà simplement amb l'oïda quan no tinguem engegada la font de soroll). D'altra banda, es podrà determinar l'estabilitat de la font d'emissió ja que si els dos sonòmetres tenen una



fluctuació dels valors considerable serà a causa de la font. Per últim, es podrà determinar si la font emet sempre la mateixa component freqüencial observant els valors acústic del sonòmetre de 6 metres en les diverses mesures quan l'altre sonòmetre es vagi allunyant.

La tria de les distàncies de les mesures són aquestes perquè es considera que a 25 metres el coeficient d'absorció ja té una importància considerable. Les altres distàncies s'han posat per veure com evoluciona amb distàncies que ja són més important i més comuns que hi poden haver d'una habitatge a una xarxa de comunicació. El màxim s'ha posat a 150 metres perquè és difícil troba un emplaçament on hi hagi 150 metres lliures per poder realitzar la mesura i alhora els nivells mesurats a aquesta distància, amb la potència acústica disponible per la font, són en alguns casos afectats considerablement pel soroll de fons.

3.5 Paràmetres de mesura acústica

La determinació de les dades que es fan servir és molt important ja que a partir de les mesures experimentals que es tenen, es poden analitzar molts conceptes.

De totes les dades de les mesures que es tenen, els valors més importants que es volen analitzar són els valors freqüencials. Aquests valors són molt importants ja que a part de veure en quines freqüències el soroll que es genera és més important, ens serveix per a partir d'aquí saber el valor de pressió sonora. Cal tenir en compte que el comportament de l'energia acústica es troba altament influenciada per l'espectre de la mateixa, per tant la seva mesura és fonamental. (veure annex A per operacions i annex B per les mesures).

Un altre concepte que ja ha sortit varis cops i que té una importància capital és el registre temporal. Aquest registre ens permetrà estudiar l'evolució temporal de la mesura, que es realitzarà tan en dBZ i dBA. La diferència entre els decibels A i els decibels Z radica en que els decibels Z són una mesura de banda ampla que no conte cap ponderació freqüencial i els decibels A son representatius del comportament de la oïda humana i contenen una ponderació freqüencial anomenada corba A.. Això és a causa que el nostre oïda no es lineal i per aquest motiu existeix una taula de ponderació per tal de poder passar dels decibels Z als decibels A.



Donant com a referència els decibels Z, la taula de ponderació ens dóna el valor que se li ha de sumar per obtenir els decibels A (abreviat dBA):

Taula de ponderació	
Freqüència	Decibels A
31,5	-39,4
63	-26,2
125	-16,1
250	-8,6
500	-3,2
1000	0
2000	1,2
4000	1
8000	-1,1

Taula1: Ponderació decibels Z a decibels A

3.6 Determinació de les potències acústiques

La determinació de la potència acústica del grup electrogen és indispensable per tal de poder determinar la potència acústica total d'emissió (que es composarà del grup electrogen i de la font de soroll) i poder-la introduir en el model matemàtic de predicció acústica. Un cop determinades les potències acústiques es podran comparar els resultats de les simulacions, amb els resultats obtinguts en les diverses mesures. No obstant, les dues potències acústiques a determinar (grup electrogen + font de soroll) no es troben de la mateixa forma, sinó que la determinació de la potència acústica del grup electrogen és la més complexa de determinar. El procediment per trobar-la es comenta a continuació.

Primerament, es tria un terra completament reflectant ja que així podrem tenir controlats els dos rajos, el directe i l'indirecte que es reflexa al terra, que apareixen en el càlcul.

Tot seguit, es col·loca el sonòmetre a una distància no molt gran (2,5 metres) del grup electrogen i a una alçada de 0,5 metres del terra. Aquestes distàncies són molt importants ja que per tal de saber la potència acústica hi ha equacions on hi intervé la distància.

Per últim, s'engega només el grup electrogen i es mesura el soroll captat en el sonòmetre. S'utilitza només el grup perquè si ho féssim amb la font això voldria dir que el grup està encès i no es podria determinar la potència acústica individual del grup.



Les equacions que s'han d'utilitzar són les següents

$$L_P = L_W - \sum A_{div} \quad \text{Eq. 1}$$

$$A_{div} = 20 \cdot \log_{10} r - D_i + 11 \quad \text{Eq. 2}$$

$$L_W = L_P + 20 \cdot \log_{10} r + 11 - D_i \quad \text{Eq.3}$$



Figura 10: Muntatge de la determinació de la potencia acústica del grup

Una vegada determinada la potencia del grup electrogen, la potencia de la font d'emissió s'ha de determinar amb el programa Cadna. S'agafaran els valors que doni el sonòmetre de 6 metres i es posarà uns valors de potència acústica a la font (programari). Aquests valors es determinaran per un procés d'inversió de models, sobre les equacions anteriorment descrites i s'anirà fent simulacions fins veure que els valors del programa de predicció acústica al punt de referència de 6 metres convergeix amb els obtinguts amb la mesura real.

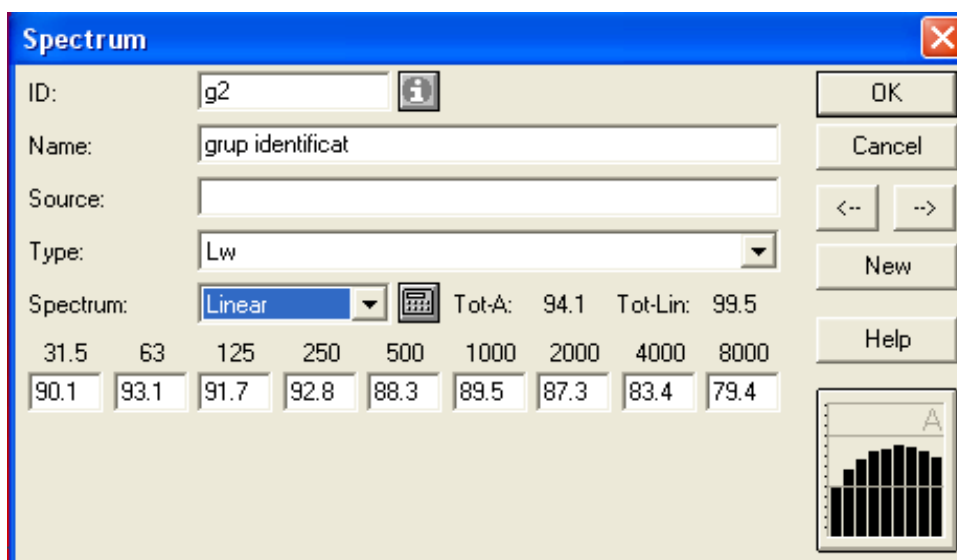


Figura 11: Potència grup per freqüències

3.7 Tractament de dades

A partir de les mesures que es realitzin en els diferents experiments, s'extrauran unes dades amb les quals es treballaran per tal d'arribar a conclusions. L'extracció de les dades es fa simplement connectant els sonòmetres amb el port USB o sèrie de la computadora i amb el programari que ens proporciona la casa Cesva.

Aquestes dades s'exportaran per tal de poder treballar-les amb una fulla de càlcul. Un cop es tenen en el document, s'ha de tenir en compte que no es tenen exactament la mateixa tipologia de dades pel que fa al registre de l'espectre, unes es troben en banda d'octava i la resta en terços d'octava ja que els dos sonòmetres emprats en les mesures són diferents. No obstant, aquest fet no és problema ja que s'implementa una conversió de tots els espectres a banda d'octava (veure annex A), que finalment és la tipologia de dades amb que treballen usualment els programaris de predicció acústica.

Com s'ha mencionat anteriorment, les dades que es volen són els valors de pressió sonora per banda d'octava. Aquestes bandes d'octava són mesurades directament pel sonòmetre SC30, mentre que el sonòmetre SC310 ens dona els terços d'octava.

Un cop ja estiguin les dades en espectre freqüencial, primerament es farà una gràfica del registre temporal tant per les dades del sonòmetre SC30 com SC310 per descartar problemes mencionats en l'apartat 3.4. En la següent figura es mostra un registre temporal que ens indicaria que les dades no poden ser agafades com a bones.

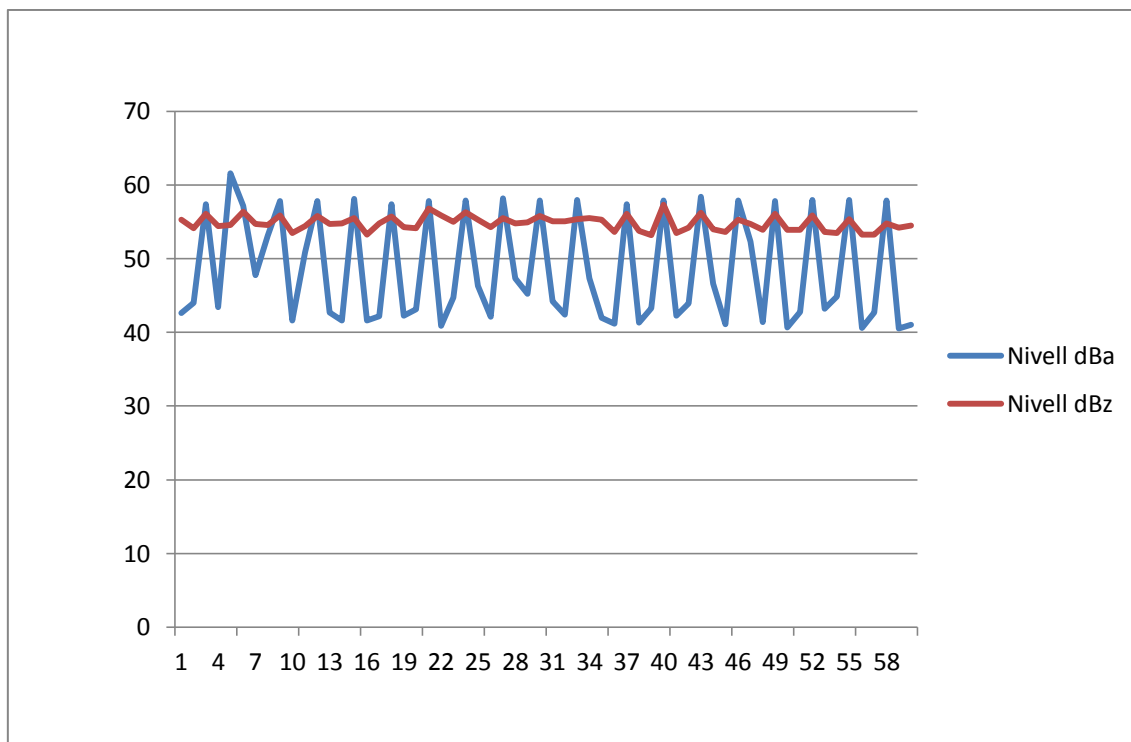


Figura 12: Registre temporal erroni

Un cop es veu que les dades obtingudes de les mesures són aptes, aquests valors freqüencials seran els que ens donaran un valor de pressió sonora global i amb aquest valor és el que ens servirà per comparar-lo amb els valors del programari. Els valors del programari que es tindran seran 10 valors, en banda d'octava per distància i per coeficient d'absorció, és a dir, per cada distància es tindrà un valor que variarà amb els diferents coeficients d'absorció que s'introdueixin en el programa. D'aquesta manera, es divideix l'interval coeficient d'absorció en divisions de 0,1.

La comparació dels valors de programari amb els de les mesures es realitza amb aquests 10 valors i ajustant les dades experimentals als valors que ens dona. A partir de realitzar això es podrà determinar un coeficient adequat. En aquesta part, es farà unes gràfiques per veure com s'ajusta les mesures dins els marges que ens dóna el programari.

S'ha de mencionar que es treballarà tant en valors equivalents com amb el percentil L10 (soroll de pic) per tal que es pugui veure amb claredat si el soroll de fons afecta en alguna mesura, donat que aquest paràmetre es normalment menys propens a ser afectat pels sorolls de fons. Així, s'extrauran dues gràfiques de cada mesura que facin els sonòmetres.



3.8 Simulacions amb el programari Cadna

El programari CadnaA és un programa que ens permet fer simulacions d'emplaçaments per tal de predir el soroll acústic en un cert indret quan hi ha una font d'emissió on es coneix la seva potencia acústica.

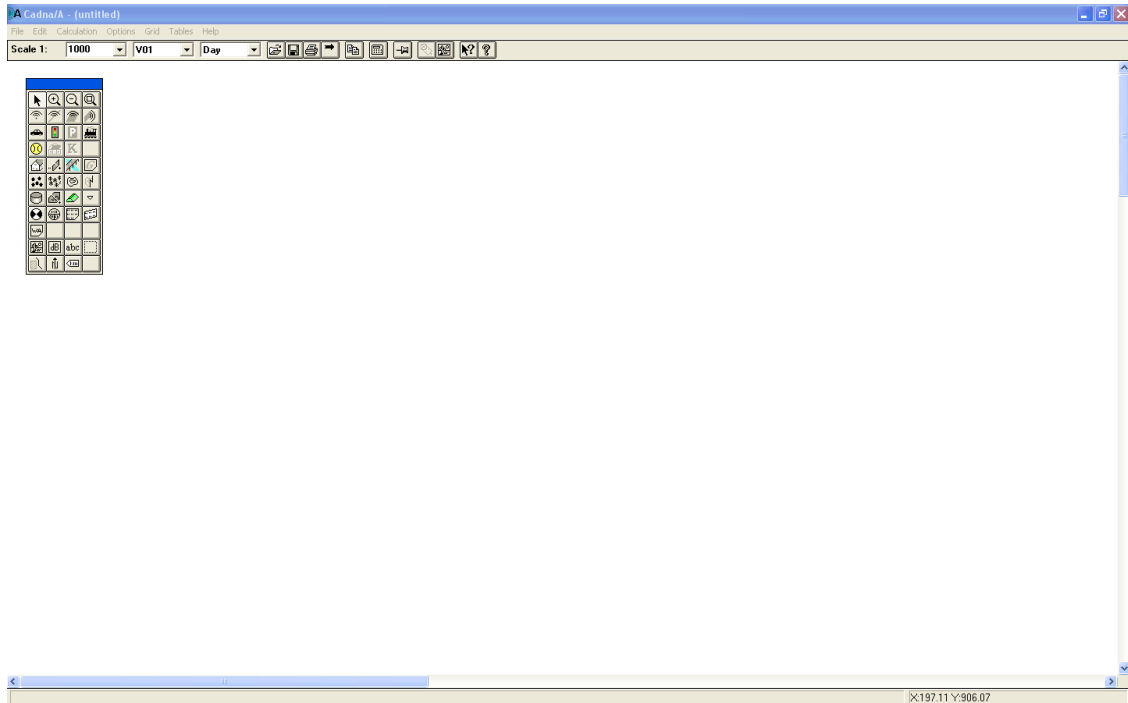


Figura 13: Interfície del programa Cadna

La seva interfície, com es pot veure, és bastant intuïtiva. Amb les eines que proveeix el programari, es pot implementar virtualment el disseny de l'experiment que es duu a terme posant les dues fonts d'emissió (grup i font) i els receptors, en un entorn pla i de coeficient d'absorció específic.

Els paràmetres que s'hauran de determinar tant en el grup com en la font d'emissió són les alçades i la posició que tenen un respecte l'altre. El soroll que provoca el grup està a una alçada de 20 centímetres del terra mentre que el de la font de soroll està a una alçada de 1,7 metres. Entre la font d'emissió i el grup hi ha una distància d'uns 10 centímetres.

Un cop disposades la font d'emissió i el grup electrogen, es col·loca els receptors de soroll. Aquests estaran tots a una alçada de 1,5 metres d'alçada i a les distàncies mencionades anteriorment, 6 metres pel sonòmetre de referència i 25, 50, 100 i 150 metres pel altre sonòmetre.



Tot seguit es mostra una imatge d'una simulació , per tal de veure la disposició de l'experiment en qüestió. Es tria veure amb tres dimensions perquè així és més fàcil de veure els diferents punts configurats a l'estudi.

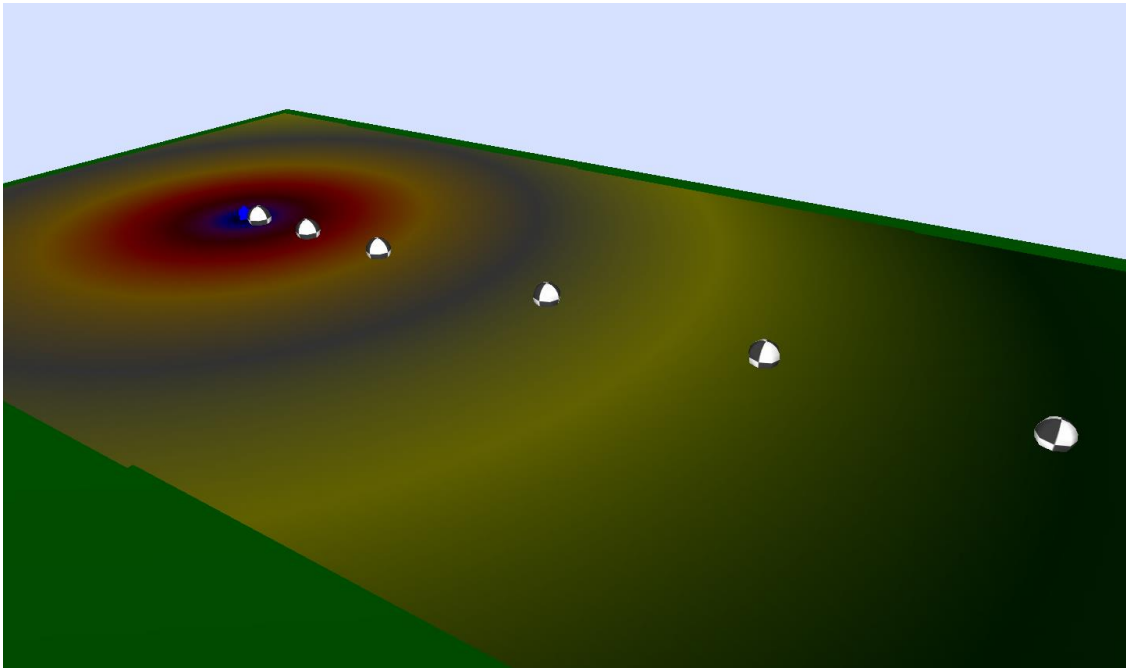


Figura 14: Esquema 3D mesures

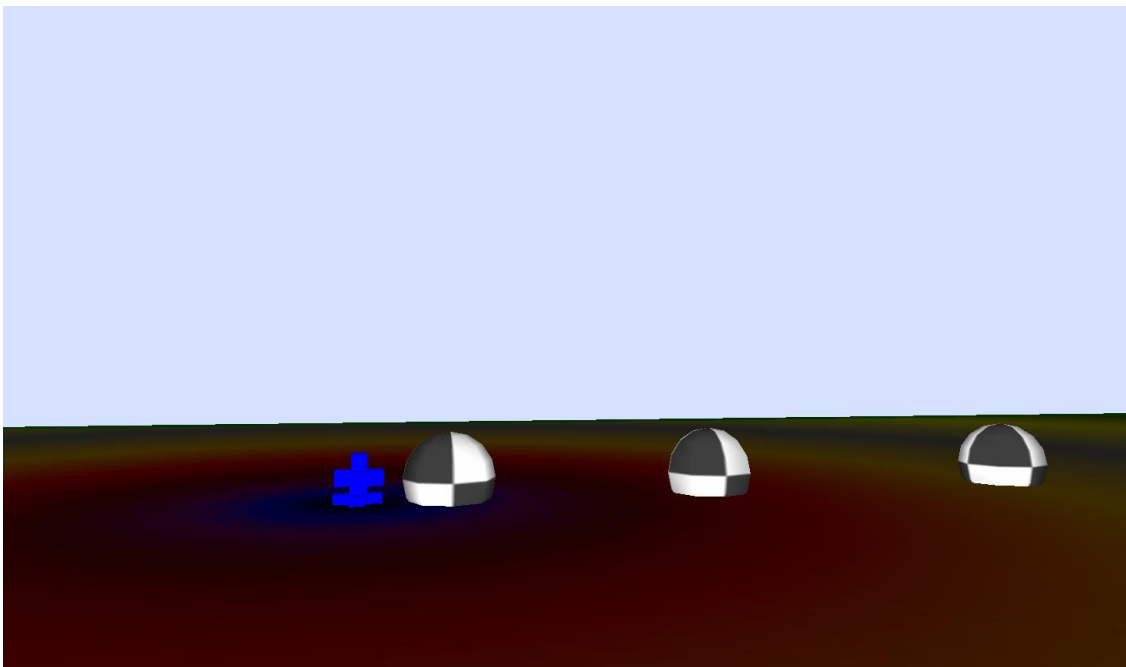


Figura 15: Esquema font i grup

En la figura 14 es pot veure el diversos indrets on es voldrà les dades de la simulació simbolitzats amb aquesta semiesfera de color negre i blanc. S'ha de mencionar que es va afegir un receptor a 200 metres però que aquesta no influeix al estudi.



En la figura 15 es pot veure les fonts d'emissions de color blau encara que en la figura només sembla una font. Això es degut a que al estar tan juntes en la imatge en 3D, el programari ho simbolitza com una, però en les simulacions hi ha les dues.

Com s'ha mencionat, es tenen dues fonts d'emissió (grup electrogen i font d'emissió) que emeten soroll. L'inconvenient d'aquest fet és la determinació de les potències acústiques de cada font que són necessàries per tal de fer les simulacions. Aquesta determinació per parts, es necessària donat que les dues fonts no són , tal com s'ha vist, geomètricament coincidents, es a dir, es troben en posicions diferents i donat el fet, que l'absorció acústica es un procés altament depenent de l'alçada (veure apartat 3.1), la precisió a l'hora de descriure correctament la fonts de soroll total (grup electrogen + font de soroll) podria influir en els resultats de l'estudi. Per tal de resoldre aquest inconvenient es troba la potència acústica del grup (veure apartat 3.6) i a partir de trobar aquest valor, amb el programari Cadna, s'identifica la potència acústica de la font a partir dels valors registrats en la posició de referència a 6 m, que monitoritzen l'emissió de la font. Un cop es té la potència acústica de la font, ja no s'haurà de variar dins la mateixa tanda de mesures, perquè els valors d'emissió de referència a 6 metres són sempre els mateixos i el grup electrogen s'ha agafat d'una potència elèctrica molt elevada per tal de que sempre faci la mateixa potència acústica encara que se li connecti la font d'emissió.

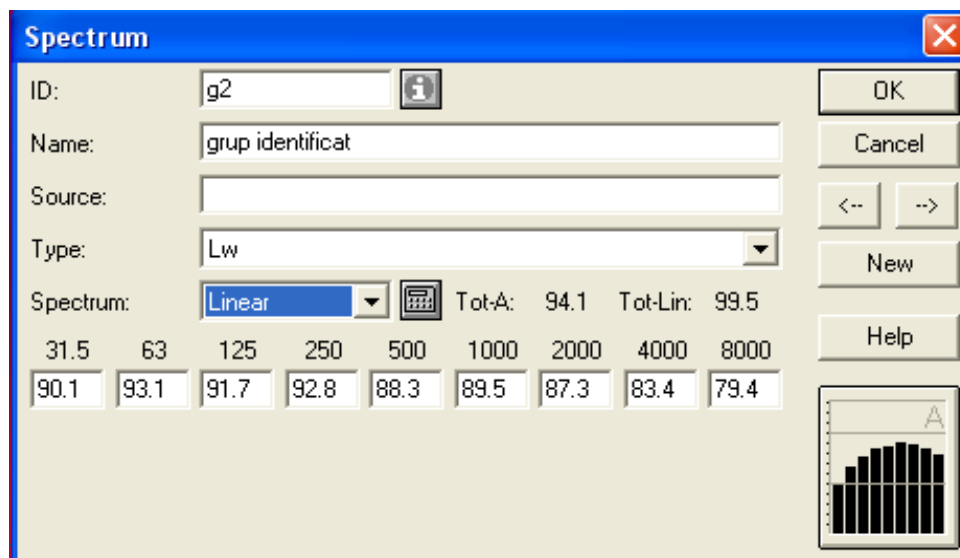
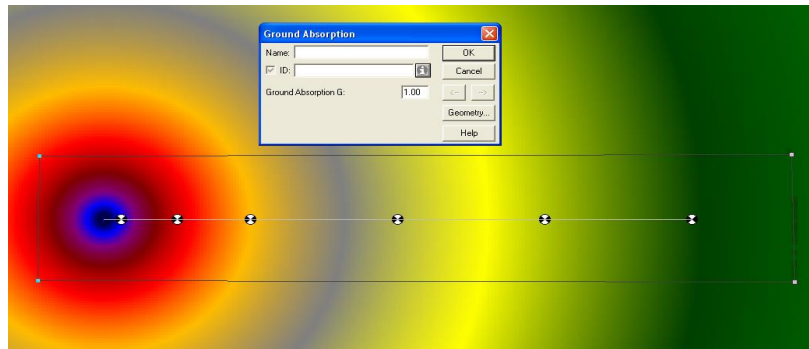


Figura 16: Potència de les freqüències del grup

Una vegada ja se sap les potències acústiques de la font i del grup, es farà les simulacions pertinents i es veurà a cada punt quins valors dóna la simulació. Per tal de realitzar això, es determinarà una zona on hi ha la font d'emissió i els punts d'interès, amb la possibilitat de variació del coeficient d'absorció del terra (G) a voluntat.

Figura 17: Simulació $G=0$

Les simulacions predictives, es basaran en una sèrie de paràmetres que possibiliten el càlcul.

Per una banda, els càlcul de raigs acústics es configurarà de forma que es calculi sense problemes tota l'àrea d'estudi, així mateix, s'ha cuidat de definir uns valors mínims de càlcul de les reflexions acústiques, respecte superfícies reflectants, fonts de soroll i receptors específiques per tal que es puguin dur a terme tots els càlculs.

S'ha configurat el programari pel càlcul de reflexions de fins a primer ordre.

També s'haurà de tenir present de posar els valors de temperatura, humitat i vent que es tenia en els dies que es realitzen les simulacions. No obstant, es va triar uns dies on les condicions fossin les més semblants possibles i a la mateixa hora.

Figura 18: Condicions climatològiques

Un cop inserit tots els valors esmentats, es fan les simulacions variant el coeficient d'absorció des de 0 fins a 1 amb intervals de 0,1. Un cop fetes les simulacions



s'agafen els valors que ens dona el Cadna i es passen a una fulla de càlcul per tal de poder comparar-los amb els obtinguts a les simulacions.

Per últim i per veure quina influència té el sòl en l'absorció del terra és mostren dues imatges on es pot veure un terra amb un coeficient d'absorció $G=0$ i un altre amb $G=1$.

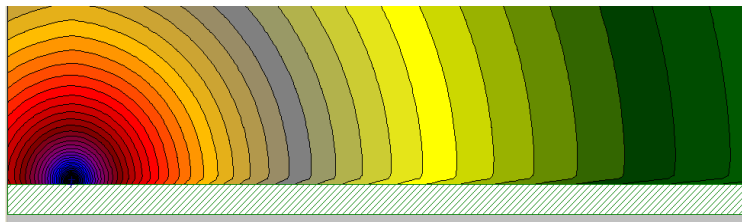


Figura 19: Simulació $G=1$

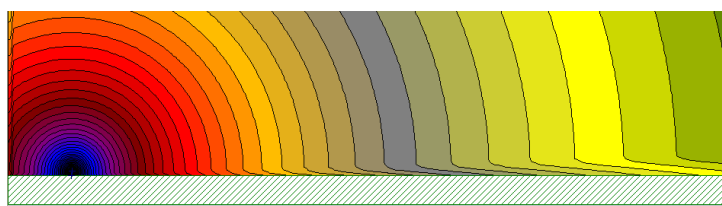


Figura 20: Simulació $G=0$

D'aquestes imatges mostrades anteriorment es pot veure com l'altura té una influència primordial ja que a una alçada d'entre 2 i 3 metres el coeficient d'absorció ja no té influència.

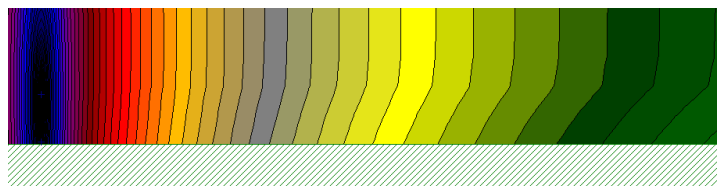


Figura 21: Efecte alçada sòl $G=1$

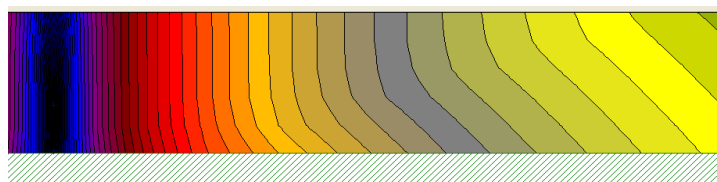


Figura 22: Efecte alçada sòl $G=0$



4. RESULTATS DEL MODEL PREDICTIU

El model matemàtic que s'utilitza és el que s'ha descrit en l'apartat 3.8 (simulacions amb el programa Cadna). En l'apartat mencionat es descriu els passos que es realitzen per tal d'obtenir els resultats per a poder realitzar l'apartat de resultats. En aquest es mostra els resultats obtinguts de les simulacions amb el Cadna:

Decibels a 6 metres									
G	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0	26,8	43	54,4	61,4	66	70,7	71,8	73,9	68
0,1	26,8	43	54,1	60,9	65,5	70,4	71,5	73,6	67,7
0,2	26,8	43	53,8	60,4	65,1	70	71,2	73,3	67,4
0,3	26,8	43	53,5	60	64,7	69,7	70,9	73	67,1
0,4	26,8	43	53,2	59,5	64,2	69,4	70,6	72,7	66,8
0,5	26,8	43	52,9	59	63,8	69,1	70,3	72,4	66,5
0,6	26,8	43	52,6	58,5	63,4	68,7	70	72,1	66,2
0,7	26,8	43	52,2	58,1	62,9	68,4	69,7	71,8	65,9
0,8	26,8	43	51,9	57,6	62,5	68,1	69,4	71,5	65,6
0,9	26,8	43	51,6	57,1	62,1	67,8	69,1	71,2	65,3
1	26,8	43	51,3	56,6	61,6	67,4	68,8	70,9	65

Taula 2: Valors de freqüències del Cadna a 6 metres

Decibels a 25 metres									
G	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0	14,8	30,9	41,3	48,2	52,3	57,3	58,7	60,2	52,7
0,1	14,8	30,9	41,1	47,7	51,9	57,1	58,5	60,2	52,8
0,2	14,8	30,9	41,1	47	51,6	57,3	58,6	60,1	52,8
0,3	14,8	30,9	41,2	46,5	51,3	57,1	58,4	60	52,8
0,4	14,8	30,9	40,8	45,6	50,6	56,8	58,1	59,7	52,5
0,5	14,8	30,9	40,5	44,7	49,8	56,4	57,8	59,4	52,2
0,6	14,8	30,9	40,1	43,8	49,1	56	57,5	59,1	51,9
0,7	14,8	30,9	39,8	42,9	48,4	55,6	57,2	58,8	51,6
0,8	14,8	30,9	39,4	42	47,7	55,2	56,9	58,5	51,3
0,9	14,8	30,9	39,1	41,1	46,9	54,8	56,6	58,2	51
1	14,8	30,9	38,7	40,2	46,2	54,4	56,3	57,9	50,7

Taula 3: Valors de freqüències del Cadna a 25 metres

Decibels a 50 metres									
G	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0	8,9	25	35,4	42,3	46,3	51,2	52,4	53,4	44,1
0,1	8,9	25	35,1	41,4	45,5	51	52,3	53,4	44,1
0,2	8,9	25	35,1	40,3	45	51	52,3	53,3	44,1
0,3	8,9	25	35,1	39,4	44,4	50,9	52,1	53,3	44,1
0,4	8,9	25	34,7	38,2	43,4	50,4	51,8	53	43,8
0,5	8,9	25	34,3	36,9	42,4	50	51,5	52,7	43,5
0,6	8,9	25	33,9	35,6	41,5	49,5	51,2	52,4	43,2
0,7	8,9	25	33,5	34,4	40,5	49,1	50,9	52,1	42,9
0,8	8,9	25	33,2	33,1	39,6	48,6	50,6	51,8	42,6
0,9	8,9	25	32,8	31,8	38,6	48,2	50,3	51,5	42,3
1	8,9	25	32,4	30,6	37,7	47,8	50	51,2	42

Taula 4: Valors de freqüències del Cadna a 50 metres



Decibels a 100 metres									
G	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0	4,3	20,4	30,4	37,6	40,9	45,6	46,4	46,1	33
0,1	4,3	20,4	29,9	36,1	39,7	45,2	46,1	46,1	33,1
0,2	4,3	20,4	29,7	34,5	38,7	45,1	46,2	45,9	33,1
0,3	4,3	20,4	29,5	33,1	37,8	44,8	45,9	45,9	33
0,4	4,3	20,4	29	31,4	36,5	44,2	45,5	45,6	32,7
0,5	4,3	20,4	28,5	29,6	35,2	43,7	45,2	45,3	32,4
0,6	4,3	20,4	28	27,9	34	43,1	44,9	44,9	32,1
0,7	4,3	20,4	27,4	26,2	32,8	42,6	44,5	44,6	31,7
0,8	4,3	20,4	26,9	24,4	31,6	42,1	44,2	44,3	31,4
0,9	4,3	20,4	26,4	22,7	30,5	41,6	43,8	44	30,1
1	4,3	20,4	25,9	21	29,4	41,1	43,5	43,7	30,8

Taula 5: Valors de freqüències del Cadna a 100 metres

Decibels a 150 metres									
G	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0	1,2	17,4	27,5	34,5	38	42,6	43,2	42,1	25,3
0,1	1,2	17,4	26,9	32,9	36,6	42,1	42,9	41,9	25,2
0,2	1,2	17,4	26,6	31,1	35,5	41,9	42,8	41,7	25,1
0,3	1,2	17,4	26,3	29,5	34,5	41,5	42,5	41,6	25
0,4	1,2	17,4	25,7	27,6	33	40,9	42	41,2	24,5
0,5	1,2	17,4	25,1	25,7	31,6	40,2	41,6	40,7	24,1
0,6	1,2	17,4	24,4	23,8	30,2	39,6	41,2	40,3	23,7
0,7	1,2	17,4	23,8	21,8	28,8	39	40,8	39,9	23,3
0,8	1,2	17,4	23,2	19,9	23,5	38,4	40,3	39,5	22,9
0,9	1,2	17,4	22,5	18	26,2	37,8	39,9	39,1	22,5
1	1,2	17,4	21,9	16,1	25,1	37,2	39,5	38,7	22,1

Taula 6: Valors de freqüències del Cadna a 150 metres



5. RESULTATS EXPERIMENTALS

En aquest apartat es descriu els emplaçaments on es realitza les diferents mesures per tal de poder tenir els instruments necessaris per fer la comparació amb els resultats obtinguts de les simulacions del Cadna.

Les mesures que es duen a terme es realitzen amb el grup i la font encesa i a una distància variant. Les distàncies són de 25, 50, 100 i 150 metres i en totes elles, hi ha un altre sonòmetre a 6 metres de la font que també enregistra el soroll. A part de realitzar aquestes mesures, també se'n realitzen unes de soroll de fons tenint en compte que les condicions siguin les mateixes que en les proves, és a dir, que en les dues mesures hi hagi un soroll de fons semblants (emissors acústics externs) i no que en una hi hagi un soroll de fons en una molt alta i en l'altre no (per exemple, en una prova de soroll de fons va passar un avió mentre que en la mesura amb la font encesa no).

Aquestes mesures es tracten amb el programari Excel i amb les dades de les simulacions realitzades amb el Cadna es pot arribar a saber quin coeficient d'absorció del terra és el més adient. De les mesures se'n extrauran dades equivalents i dades amb el percentil L10.

Els diferents tipus de terrenys que s'analitzen són:

- Terreny tipus formigó.
- Terreny tipus terra compacte.
- Terreny tipus camp.
- Terreny tipus camp d'herba.
- Terreny tipus pineda.
- Terreny tipus bosc.



5.1 Estudi del sòl de Vilablareix tipus formigó

El sòl de Vilablareix tipus formigó és el primer emplaçament en el que es durà a terme l'estudi. La localització exacte del indret en concret és el que es mostra en la següent figura. Les coordenades del indret en concret són, en sistema Universal Transverse Mercator, UTMX 483127, UTMY 4643117 metres.



Figura 23: Emplaçament sòl tipus formigó

El tipus de sòl és formigó, no obstant no és completament llis sinó que té algunes imperfeccions com es mostra en la imatge. Aquest fet pressuposa que aquest terra no serà reflectant perfecte a causa de les imperfeccions d'aquest, però es pot considerar representatiu de les tipologies de formigó típiques de construcció, que potser podrien ser una mica més reflectants si l'acabat fos de tipus fratasat, que es pot trobar en pàrquings, però no es podria dir que son habituals fora d'entorns urbans. Malgrat el comentat, es comença per aquest tipus de sòl ja que presumiblement i a priori ha de ser el que tindrà un coeficient d'absorció més proper a zero, cosa que voldrà dir que és un terreny molt reflectant.



Figura 24: Sòl tipus formigó

En les mesures realitzades a aquest terreny, s'analitza que el sorolls de fons no tinguin influència molt gran ja que quan es va realitzar aquestes mesures, al final d'aquestes, es va sentir una radial en l'última mesura de soroll de fons. Per veure totes les mesures realitzades mirar annex B.

S'ha de mencionar que les mesures es van realitzar el dia 14 de novembre de 2013 amb un període de més de quatre dies sense pluja. Aquest fet és important ja que si en el sòl hi ha presència d'aigua o humitat, el coeficient d'absorció del terra canvia sensiblement.

Un cop es tenen totes les mesures i es tracten amb un full de càlcul, es mostren les gràfiques del nivell de pressió sonora respecte la distància també amb nivell equivalent i L10.

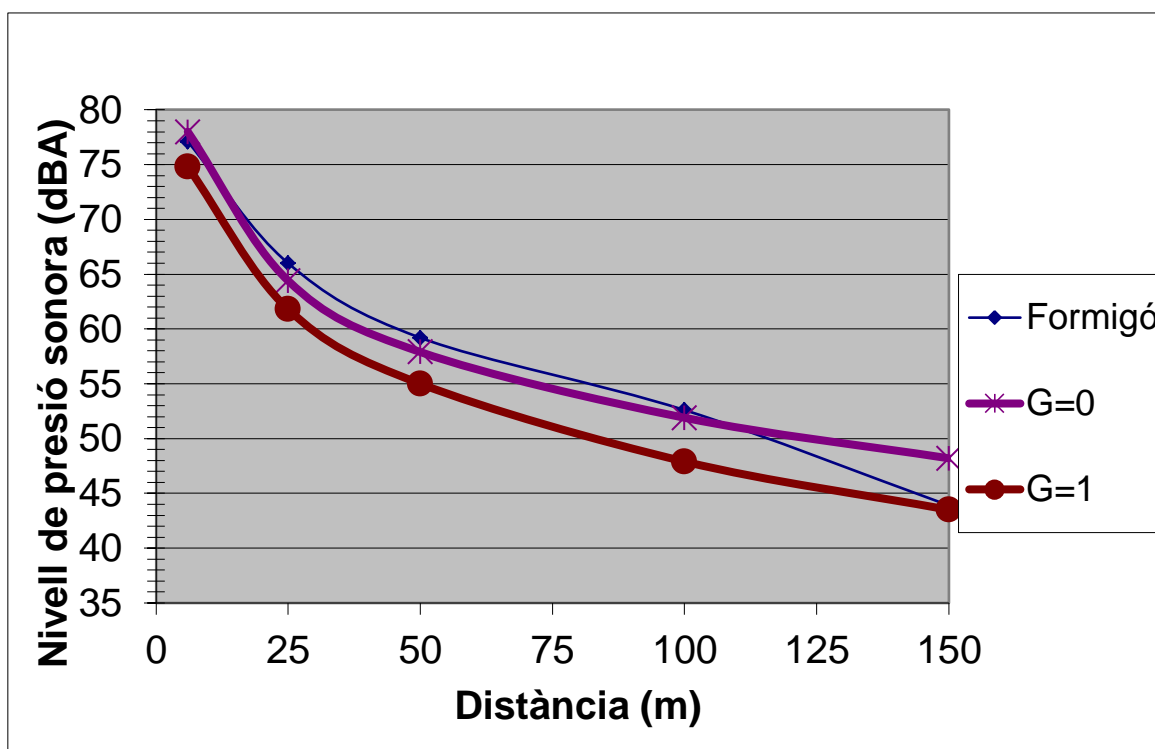


Figura 25: Evolució del nivell de pressió sonora nivell equivalent

En la gràfica de l'evolució del nivell de pressió sonora s'observa com aquest terra té un comportament amb un coeficient d'absorció molt semblant a 0. Com era presumible es compleix el que s'havia mencionat abans encara que al final té una baixada considerable del nivell de pressió sonora. Aquest fet s'associa a que a per aquesta distància tant gran, la nostra font d'emissió no tenia prou potència per arribar-hi amb bones condicions, essent afectada per sorolls de fons i efectes atmosfèrics (lleuger vent, ...).

La gràfica de l'evolució del nivell de pressió sonora però amb L10 és la següent:

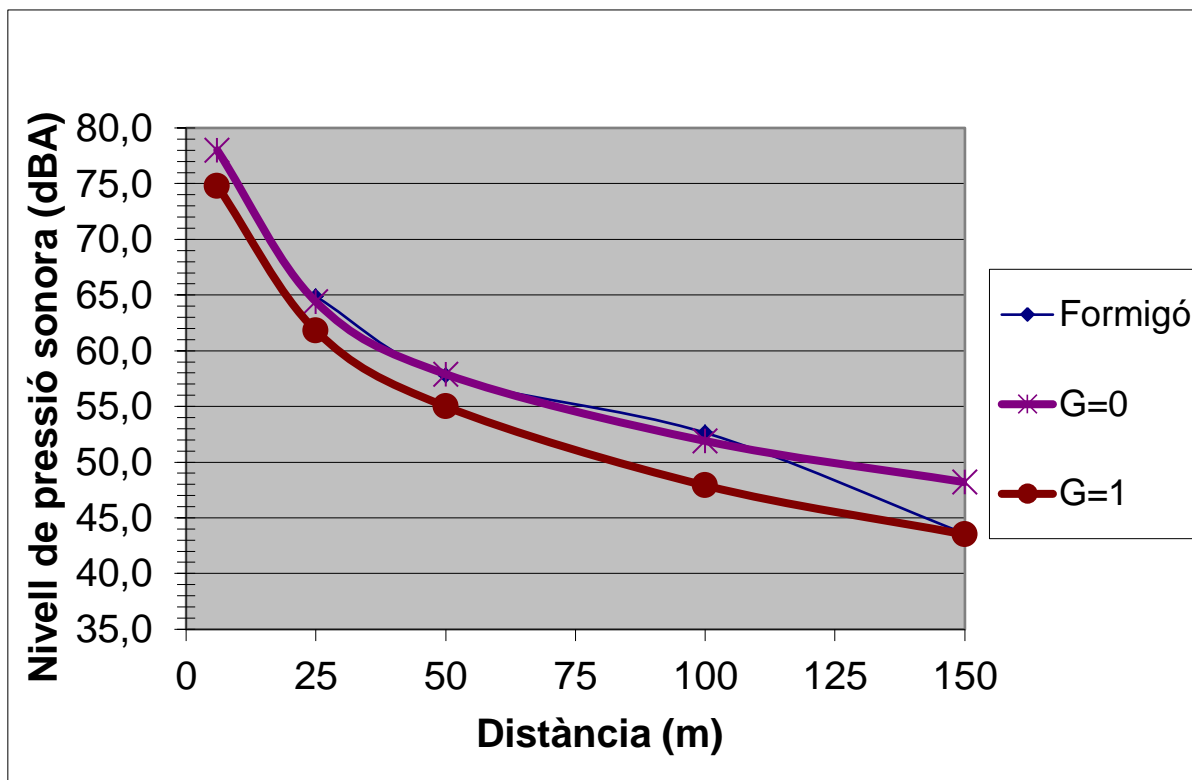


Figura 26: Evolució del nivell de pressió sonora L10

La gràfica de L10 de l'evolució del nivell de pressió sonora és molt semblant a la vista amb el nivell equivalent. Aquest fet és normal sempre i quan el nivell de soroll de fons sigui baix i no intervingui en la mesura. No obstant, tot i que el comportament és igual els valors varien una mica com es pot observar en la següent taula:

Formigó		
Distància (m)	Equivalent	L10
25	66	64,9
50	59,2	57,8
100	52,6	52,6
150	43,9	43,6

Taula 7: Valors nivell equivalent i L10

Com s'observa en la taula, les diferències són petites però es veu que hi ha constància que hi són. Així doncs, el soroll de fons en aquesta mesura no té influència i el coeficient d'absorció tant amb nivell equivalent com en L10 seran bastant iguals.



5.2 Estudi del sòl de Vilablareix tipus terra compacte

El segon tipus de sòl de Vilablareix és de terra compacta. La seva localització és molt a prop al emplaçament del terra anterior com s'observa en la següent figura. Les coordenades del indret en concret són, en sistema Universal Transverse Mercator, UTMX 483021, UTMY 4643637 metres.



Figura 27: Emplaçament sòl tipus terra compacte

Aquest tipus de sòl es caracteritza per ser terra compactada, sense sorra, amb pedres i sense vegetació (terra àrid). A prior aquest tipus de terra ha de tenir un coeficient d'absorció bastant baix ja que el terreny no presenta grans irregularitats encara que si hi hagués més pedres d'una mida més gran podrien fer variar aquest coeficient d'absorció.



Figura 28: Sòl tipus terra compacte

En aquest indret es freqüent el pas d'avions i s'ha de tenir en compte fer les mesures quan no passin aquests avions. A part d'aquest incís, s'ha de mencionar que les mesures es van realitzar el dia 14 de novembre de 2013 amb un període de més de quatre dies sense pluja. Aquest fet és important ja que si en el sòl hi ha presència d'aigua o dies enrere ha plogut i es filtra, el coeficient d'absorció del terra canvia substancialment.

Com s'ha fet anteriorment, es mostra les gràfiques del nivell de pressió sonora respecte la distància amb nivell equivalent i L10.

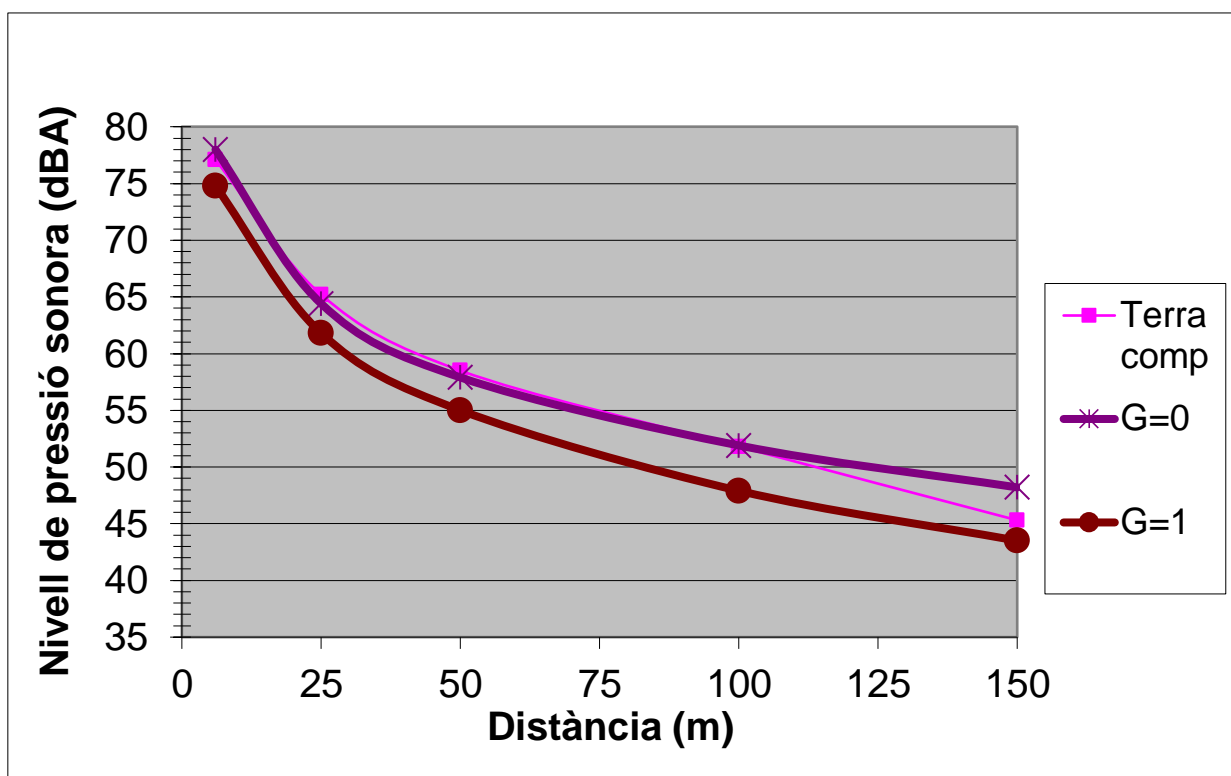


Figura 29: Evolució del nivell de pressió sonora nivell equivalent

En la gràfica de l'evolució del nivell de pressió sonora en nivell equivalent s'observa que aquest terreny té un coeficient molt proper a 0. Aquest fet confirma el que es pensava a priori i es pot observar que la diferència entre el terreny anterior i aquest és ben poca. La diferència entre els dos terrenys és poca perquè en si la seva morfologia són semblants encara que un sigui formigó i l'altre terra compacta. L'únic tret diferencial és que el de formigó és bastant llis mentre que el de terra compacte té alguna pedra, però al ser poques no influeixen gaire.

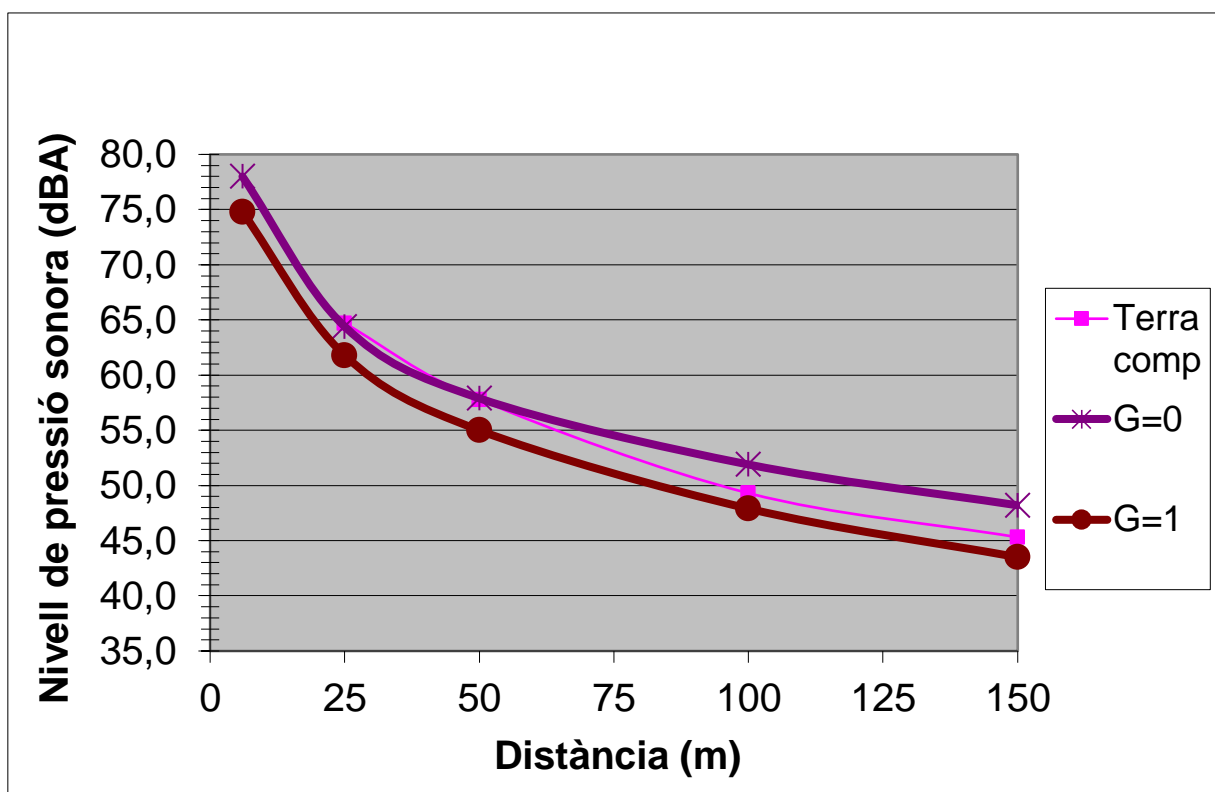


Figura 30: Evolució del nivell de pressió sonora L10

La gràfica de L10 de l'evolució del nivell de pressió sonora varia de forma substancial en els valors de 100 metres. Aquest fet es a causa de que en quan es va realitzar la mesura hi hauria soroll de fons encara que no es va arribar a escoltar-lo clarament i que aquest soroll hagués estat de tipus constant.

Per el motiu comentat anteriorment es realitza una taula on es mostra els nivells de pressió sonora tant amb el nivell equivalent com en el L10.

Terra compacte		
Distància (m)	Equivalent	L10
25	65,2	64,7
50	58,5	57,8
100	51,8	49,3
150	45,3	45,3

Taula 8: Valors nivell equivalent i L10

En aquest cas les diferències comencen a ser una mica més grans que en el cas anterior, fet que indica una variabilitat del soroll registrat més gran, pel que es pot concloure que en aquesta mesura l'efecte del soroll de fons ha estat més important que en d'altres.

5.3 Estudi del sòl de Cassà de la Selva tipus camp terra

El tercer tipus de sòl que s'estudia és un camp de terra localitzat a Cassà de la Selva. La seva localització exacte es pot veure en la següent figura. Les coordenades del indret en concret són, en sistema Universal Transverse Mercator, UTMX 487912, UTMY 4636334 metres.



Figura 31: Emplaçament sòl tipus camp de terra

Aquest tipus de sòl es caracteritza per ser un camp sense estar llaurat ni sembrat, amb poca herba a sobra. El terra d'aquest camp és el característic d'haver deixat un cop haver recollit la collita (semblant a un terra d'un guaret). Aquest tipus de sòl, a priori, ha de tenir un coeficient d'absorció més elevat als anteriors encara que potser s'assembla més del que es creu al coeficient de terra compacta.



Figura 32: Sòl tipus camp de terra

Aquest indret és bastant tranquil cosa que ens beneficia alhora de realitzar les mesures ja que no hi ha gaire soroll de fons. No obstant, es va haver d'esperar fins gairebé al migdia per tal que l'atmosfera s'escalfés i no hi hagués inversió tèrmica.

Les mesures es van realitzar el 5 de desembre del 2013 i si es busca les temperatures, s'observa que cap a les 12 del migdia la temperatura és al voltant de 15 °C que és la temperatura amb la que es va fer els altres experiments i amb la que la inversió tèrmica no tenia molta influència.

A més d'aquest incís, observant les dades meteorològiques es veu que no va ploure els dies precedents a la mesura i es pot afirmar que en el terreny no hi havia la influència de l'aigua cosa que ens faria canviar el coeficient d'absorció.

Com s'ha fet anteriorment, es mostra les gràfiques del nivell de pressió sonora respecte la distància amb nivell equivalent i L10.

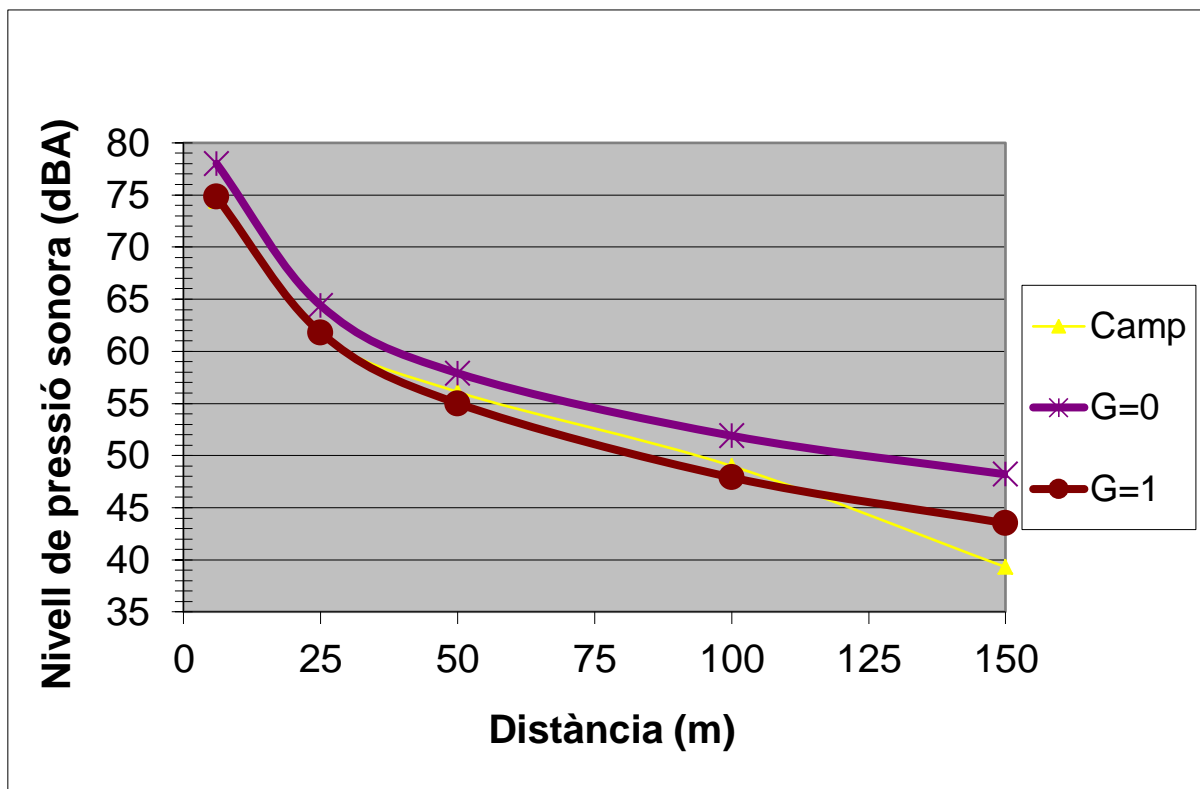


Figura 33: Evolució nivell pressió sonora nivell equivalent

En la gràfica de l'evolució del nivell de pressió sonora en nivell equivalent s'observa que aquest terreny té un coeficient proper a 1. Aquest fet ens fa pensar que potser el que està a la literatura que el coeficient d'absorció $G=1$ correspon a un sòl de màxima absorció, i no és així. No obstant, encara és massa prematur per extreure conclusions ja que falten molts terrenys per analitzar i d'aquest mateix terreny s'ha d'observar el comportament amb L10.

S'ha de mencionar com en les altres mesures, que a partir de 150 metres sembla com si el soroll de la font acústica no fos suficientment elevat per arribar a aquesta distància i per aquest motiu hi ha aquest descens tant elevat.

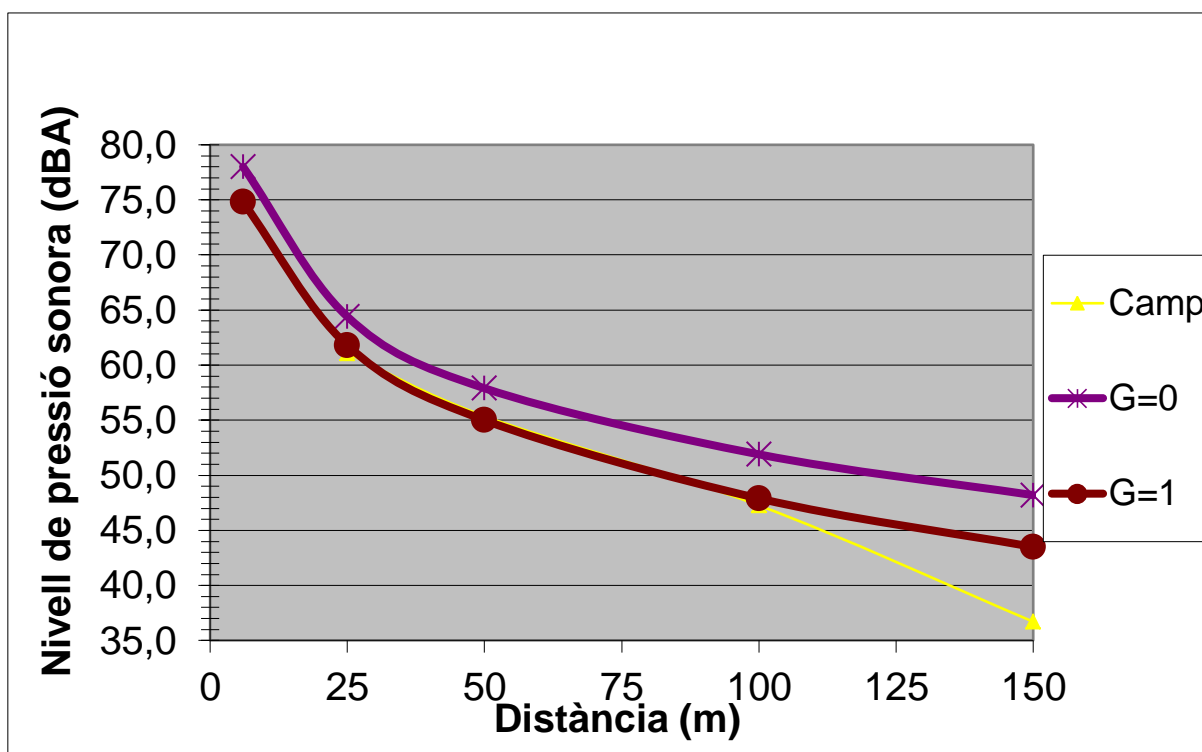


Figura 34: Evolució nivell pressió sonora L10

La gràfica de L10 de l'evolució del nivell de pressió sonora segueix el mateix comportament que en els altres dos tipus de terra, és a dir, a fet baixar la línia de pressió sonora. No obstant aquesta disminució no sembla tant acusada com en els altres casos.

Camp		
Distància (m)	Equivalent	L10
25	61,7	61,1
50	56,1	55,4
100	49	47,3
150	39,3	36,7

Taula 9: Valors nivell equivalent i L10

En la taula s'observa com hi ha diferències però en cap cas es supera els 3 decibels. Encara que el valor de la mesura de 150 metres és elevat, no es tindrà en compte perquè com hem mencionat abans el valor en aquest punt té influència de la font d'emissió.

5.4 Estudi del sòl de Cassà de la Selva tipus camp herba

El sòl tipus camp d'herba és el quart tipus de sòl que s'estudia en el present projecte. Aquest terreny està situat a Cassà de la Selva i la seva localització es pot veure en la següent figura. Les coordenades del indret en concret són, en sistema Universal Transverse Mercator, UTMX 489389, UTMY 4638206 metres.



Figura 35: Emplaçament sòl tipus camp herba

En la imatge es pot veure que el lloc on es realitza les mesures està bastant a prop de la localitat de Cassà de la Selva. No obstant, aquest indret està localitzat a les afores d'una urbanització molt tranquil·la i a més es tria un dia en el que el moviment en aquella zona és pràcticament nul. Per motiu i perquè es va considerar que el terreny era molt adient es va triar aquest indret.

El sòl en qüestió està caracteritzat per ser un camp com el mencionat anteriorment però amb la diferència de que hi ha herba a sobre. En principi aquest tipus de terreny hauria de ser el més absorbent dels que fins ara s'han mencionat. No obstant, el fet de classificar els terrenys sense tenir cap mena de dada no és gens trivial ja que depèn molt de la densitat d'aquest terreny i per tant depèn molt de la morfologia del terreny i de si està molt o poc compactat.



Figura 36: Sòl tipus camp herba

Com s'ha mencionat anteriorment, aquest indret és molt tranquil i per aquest motiu el soroll de fons no serà molt important, tot i que s'ha de comprovar. Per comprovar-ho s'ha de realitzar les dues gràfiques que s'estan realitzant també als altres terrenys; la del nivell equivalent i la de la pressió sonora L10.

S'ha de mencionar que com passava en el camp de terra, en aquest també s'ha d'esperar a realitzar les proves cap al migdia ja que sinó la inversió tèrmica podria influir a les nostres dades.

Observant les dades meteorològiques (meteocat) en que es va realitzar les mesures (23 de desembre de 2013) es veu que la matinada anterior va ploure molt poc (exactament 0,1 mm). No obstant, com que el que va ploure es molt poc i el terreny quan vam realitzar les mesures estava sec, es considera les mesures realitzades com a bones.

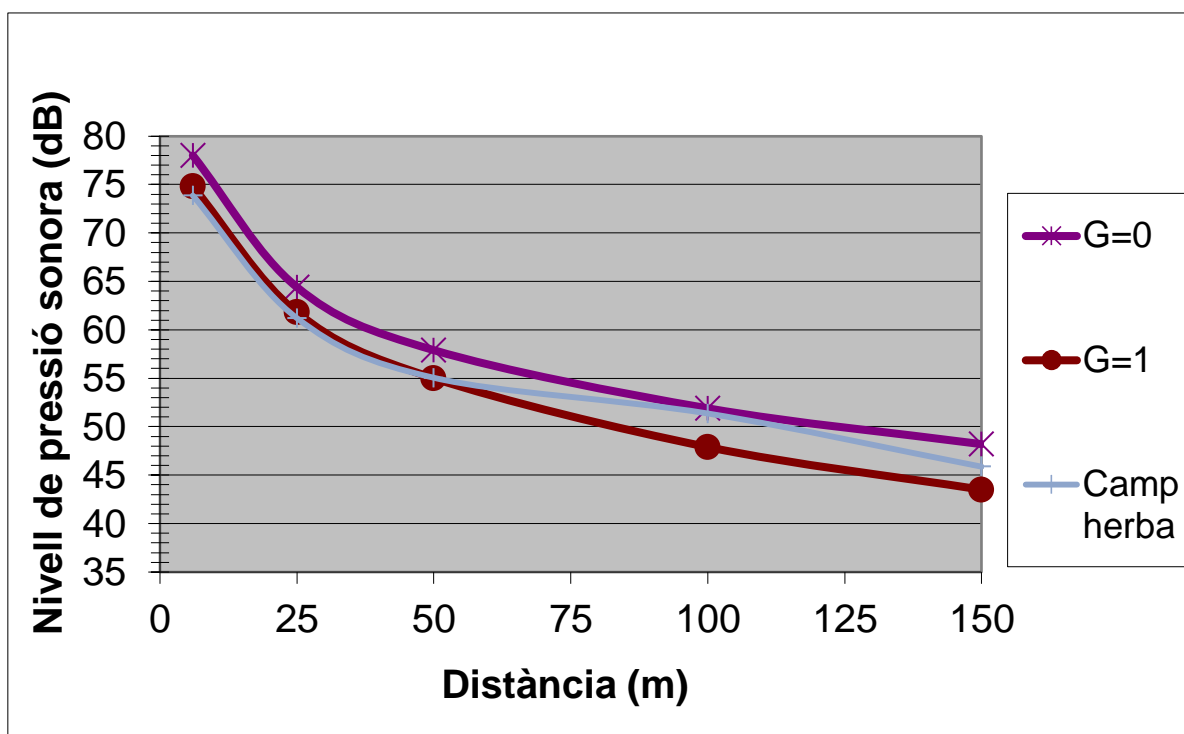


Figura 37: Evolució nivell pressió sonora nivell equivalent

En la gràfica del nivell de pressió sonora equivalent s'observa com a diferents distàncies el coeficient d'absorció varia considerablement. Així per distàncies curtes de 25 i 50 metres tenen un coeficient molt proper a 1, mentre que a 100 metres s'aproxima molt a 0. Això fa pensar que en la mesura de 100 metres pugui estar contaminada per algun soroll de fons el qual hagi pogut elevar el nivell de pressió sonora.

El problema que pot haver amb la mesura de 100 metres de saber si es provocat per el soroll o no, es pot arribar a saber si es fa l'evolució de pressió sonora amb L10. Si en aquest punt el valor és molt més baix, es podrà afirmar que ha estat contaminat per el soroll de fons.

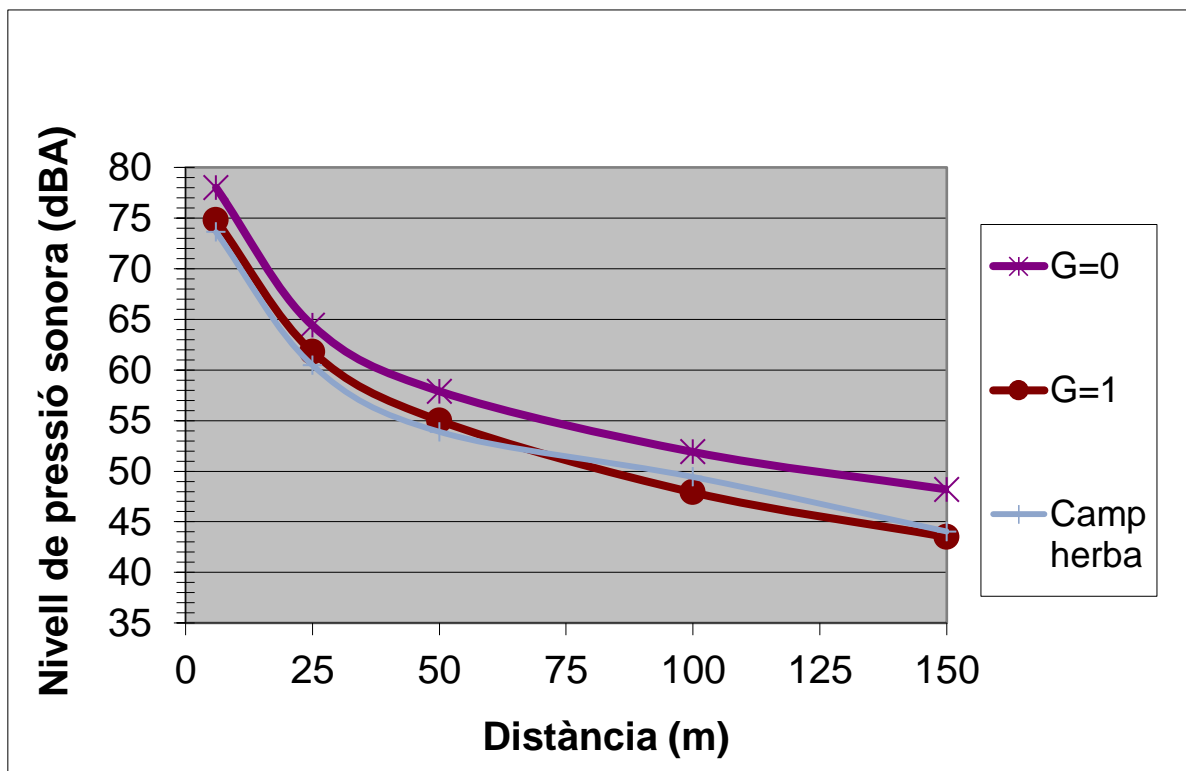


Figura 38 Evolució nivell pressió sonora L10

En la gràfica de l'evolució del nivell de pressió sonora amb L10 s'observa que es bastant diferent que la gràfica en nivell equivalent. La diferència sobretot es veu en la mesura de 100 metres ja que la disminució és bastant considerable.

Per saber quan ha variat els valors de pressió sonora es realitza la taula que s'ha fet també en els altres casos comparant els valors tant en nivell equivalent com en nivell L10.

Camp herba		
Distància (m)	Equivalent	L10
25	61,2065361	60,5
50	55,0491909	53,9
100	51,3657903	49,4
150	45,8741427	44,0

Taula 10: Valors nivell equivalent i L10

Observant els valors de la taula, es veu com en la mesura de 100 metres de distància hi ha una diferència que no es pot menysprear i per tant quan es realitzin posterior operacions s'haurà de treballar amb L10.

5.5 Estudi del sòl de Cassà de la Selva tipus pineda

El sòl triat com a representant de terreny tipus pineda per a l'estudi es troba a Cassà de la Selva. La localització d'aquest terreny és el que es mostra en la següent figura i les coordenades del indret en concret són, en sistema Universal Transverse Mercator, UTMX 490765, UTMY 4638544 metres.



Figura 39: Emplaçament sòl tipus pineda

L'indret on es localitza la pineda és a les afores de Cassà de la Selva, en el veïnat Matamala. Aquesta pineda té l'inconvenient que és una mica curta per a realitzar totes les mesures i només es realitzaran fins a la distància de 100 metres.

El sòl de la pineda està caracteritzat per tenir moltes fulles de pi al terra, però sota d'aquestes fulles hi ha un terra compacte de sorra amb humitat. A priori aquest tipus de terreny ha de tenir un coeficient d'absorció semblant als dels dos tipus de camp dels quals hem realitzat l'estudi encara que potser serà una mica superior, és a dir més absorbents.



Figura 40: Sòl tipus pineda

L'indret on es fan les mesures pel sòl tipus pineda és un lloc bastant tranquil i apartat de la població. Això ens indica, a priori, que en principi en les mesures no hi haurà cap tipus d'afectació a nivell de soroll. No obstant, s'ha de tenir present que hi ha arbres al voltant i aquests poden influir a l'hora dels resultats.

Observant les dades meteorològiques (meteocat) en que es va realitzar les mesures (23 de desembre de 2013) es veu que la matinada anterior va ploure molt poc (exactament 0,1 mm). No obstant, com que el terra en si d'aquest terreny ja és una mica humit, s'acceptarà els resultats que aquest terreny doni.

Com s'ha realitzat en els altres casos, es realitza dues gràfiques on en la primera es troba el nivell equivalent mentre en la segona es troba el nivell de pressió sonora amb el L10.

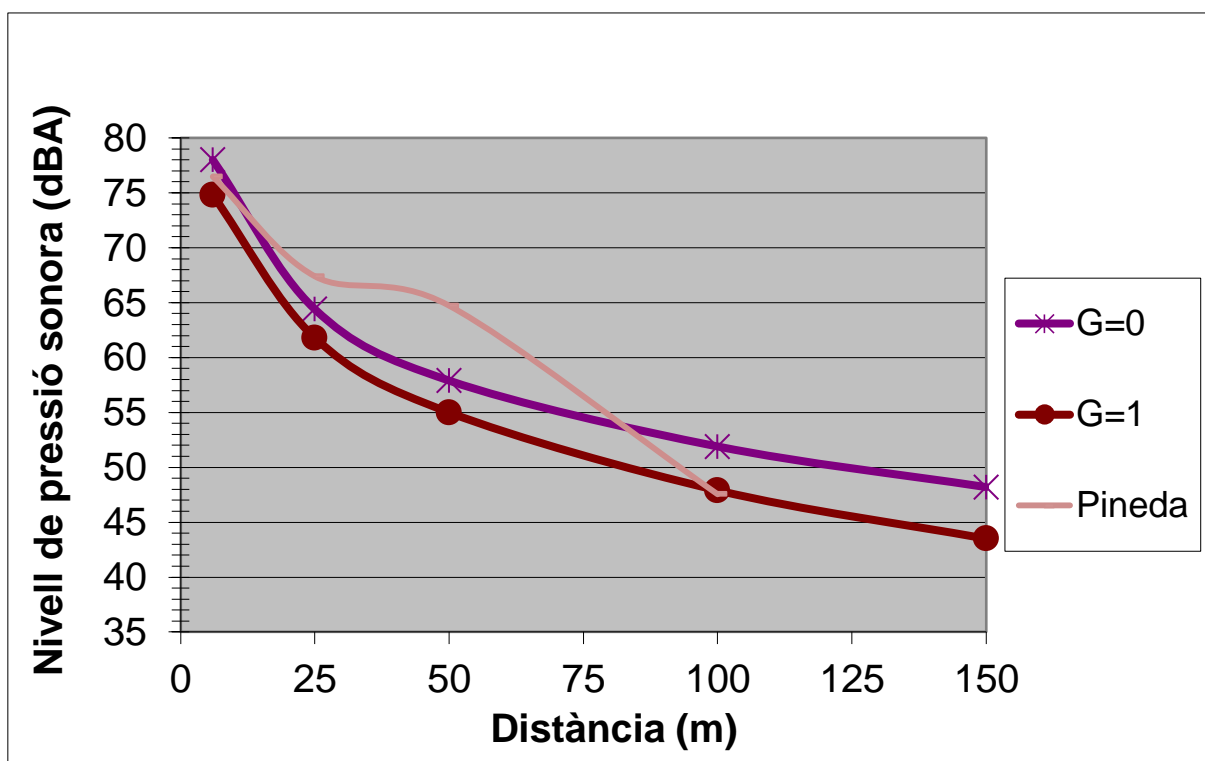


Figura 41: Evolució nivell pressió sonora nivell equivalent

En la gràfica del nivell de pressió sonora amb el nivell equivalent s'observa un comportament molt estrany ja que els valors de 25 i 50 metres són anormals. Aquest fet sembla que en compte de que pugui estar afecta per algun tema d'algun soroll de fons, sigui a causa d'algun altre comportament estrany.

Cal mencionar, que un possible efecte d'aquesta evolució és que al haver-hi arbres hi hagi fenòmens de reflexió amb aquests i que provoquin que els rajos que arribin al sonòmetre siguin més de dos.



Figura 42: Experiment pineda



Com s'ha fet en altres casos també es mostra la gràfica de l'evolució del nivell de pressió sonora amb L10.

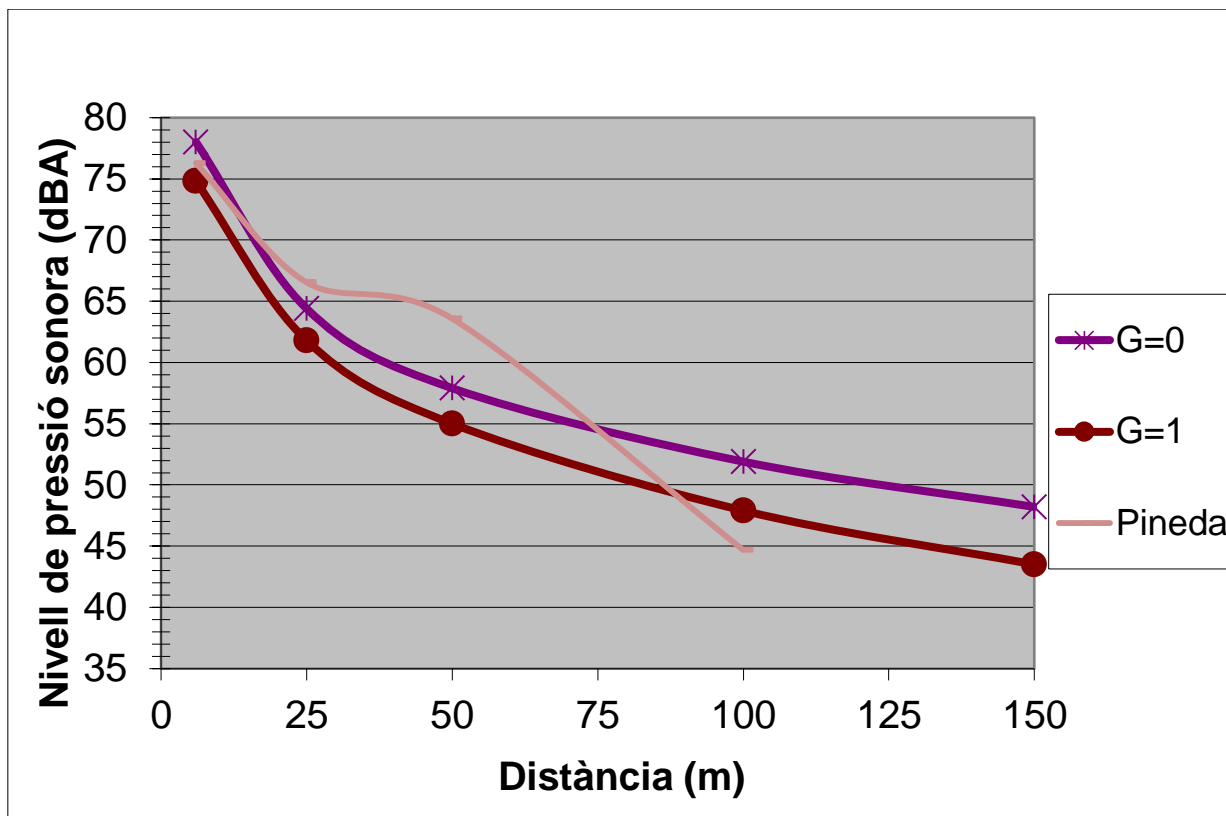


Figura 43: Evolució nivell pressió sonora L10

En la gràfica de l'evolució del nivell de pressió sonora amb L10 s'observa que les anomalies en les dades de 25 i 50 metres no són causades pel soroll de fons, ja que en el nivell equivalent com en L10 ens donen valors molt semblants. Així, es suposa que deuen estar causades per la reflexió dels arbres que a distàncies més curtes és més fàcil que arribin al sonòmetre mentre que a distàncies més grans és més difícil.

Per veure la diferència entre els valors del nivell equivalent amb L10 es mostra la següent taula:

Pineda		
Distància (m)	Equivalent	L10
25	67,3982175	66,5
50	64,7233827	63,6
100	47,5452258	44,7

Taula 11: Valors nivell equivalent i L10

Els resultats que s'han obtingut ens fa descartar aquest terreny i donar per dolentes les mesures captades. Aquest terreny no es tindrà en compte en el catàleg.

5.6 Estudi del sòl de Cassà de la Selva tipus bosc abrupte

L'últim sòl que s'estudiarà és el de un bosc abrupte localitzat a Cassà de la Selva (per veure localització plànol 6). Les coordenades del indret en concret són, en sistema Universal Transverse Mercator, UTMX 487786, UTM Y 4636277 metres.

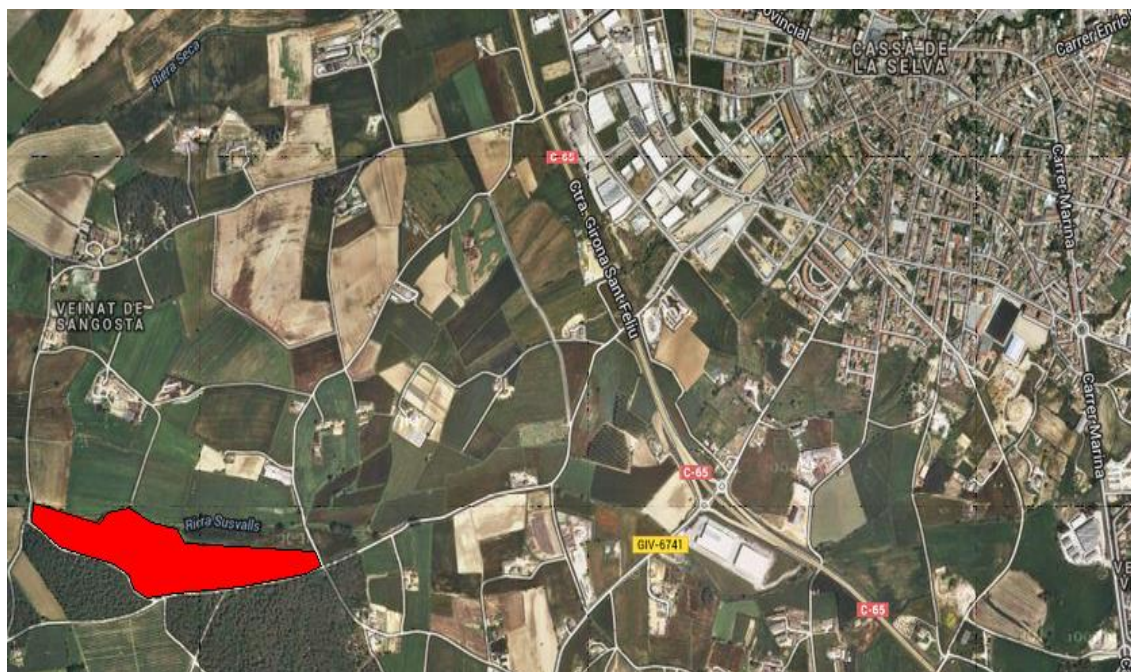


Figura 44: Emplaçament sòl tipus bosc

Aquest tipus de sòl és semblant al descrit anteriorment, però en compte de ser fulles de pi són fulles d'alzina surera i l'altre incís és que hi ha arbustos i sotabosc que fan que la vegetació sigui més abundant. Aquests fets provocaran que el so tingui més dificultats per ser transmès i a priori que el coeficient d'absorció sigui més alt i s'acosti més a 1 que a 0 (molt absorbent). No obstant això es determinarà amb els resultats de les mesures.



Figura 45: Sòl tipus bosc

Aquest indret és bastant tranquil cosa que ens beneficia alhora de realitzar les mesures ja que no hi ha gaire soroll de fons. Si ens fixem, aquest indret està al costat del lloc on es va realitzar les mesures del camp de terra i com que les mesures d'aquest terreny es van fer després de les del camp de terra, no es va haver d'esperar a que l'atmosfera s'escalfés.

Com en aquell cas, les mesures es van realitzar el 5 de desembre del 2013 i les condicions atmosfèriques eren les mateixes que per aquell cas. Per tant, hi havia una bona temperatura perquè no hi hagués inversió tèrmica i un període de dies abans en els quals no havia plogut.

Un cop explicat els condicionants de les mesures, es mostra les gràfiques del nivell de pressió sonora respecte la distància amb nivell equivalent i L10.

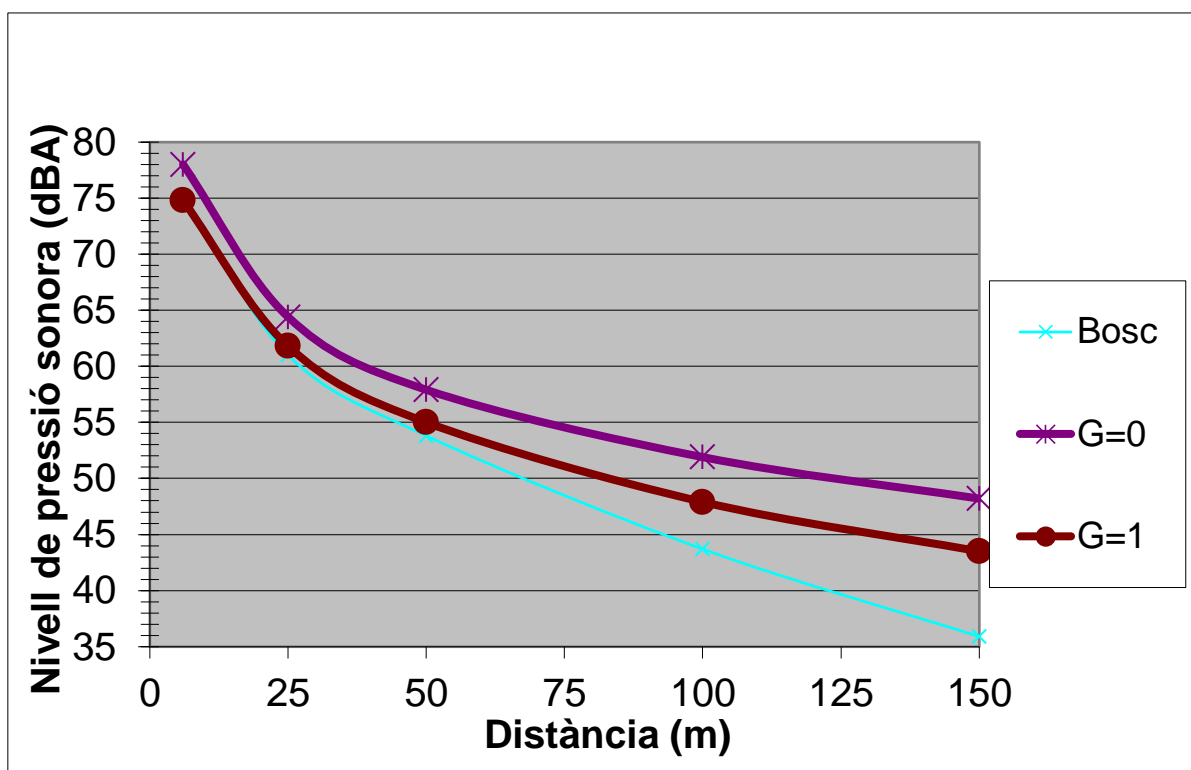


Figura 46: Evolució nivell pressió sonora nivell equivalent

Observant la gràfica de l'evolució del nivell de pressió sonora en nivell equivalent es veu com els valors estan per sota de la línia de $G=1$. Això ens indica que aquest terreny és molt absorbent i que hi ha terrenys on el coeficient d'absorció és inferior al marcat per la teoria.

No obstant, s'ha de mencionar que aquest fet també es possible perquè la vegetació d'aquest indret és molt abrupte i això el que fa és que hi hagi més impediments per tal que el so travessi el bosc. Així doncs, a part de que afecti el coeficient d'absorció també hi afectarà efectes de reflexió, de difracció i l'absorció de la mateixa vegetació.

Com s'ha fet en totes les altres mesures, es mostra l'evolució del nivell de pressió sonora amb L10.

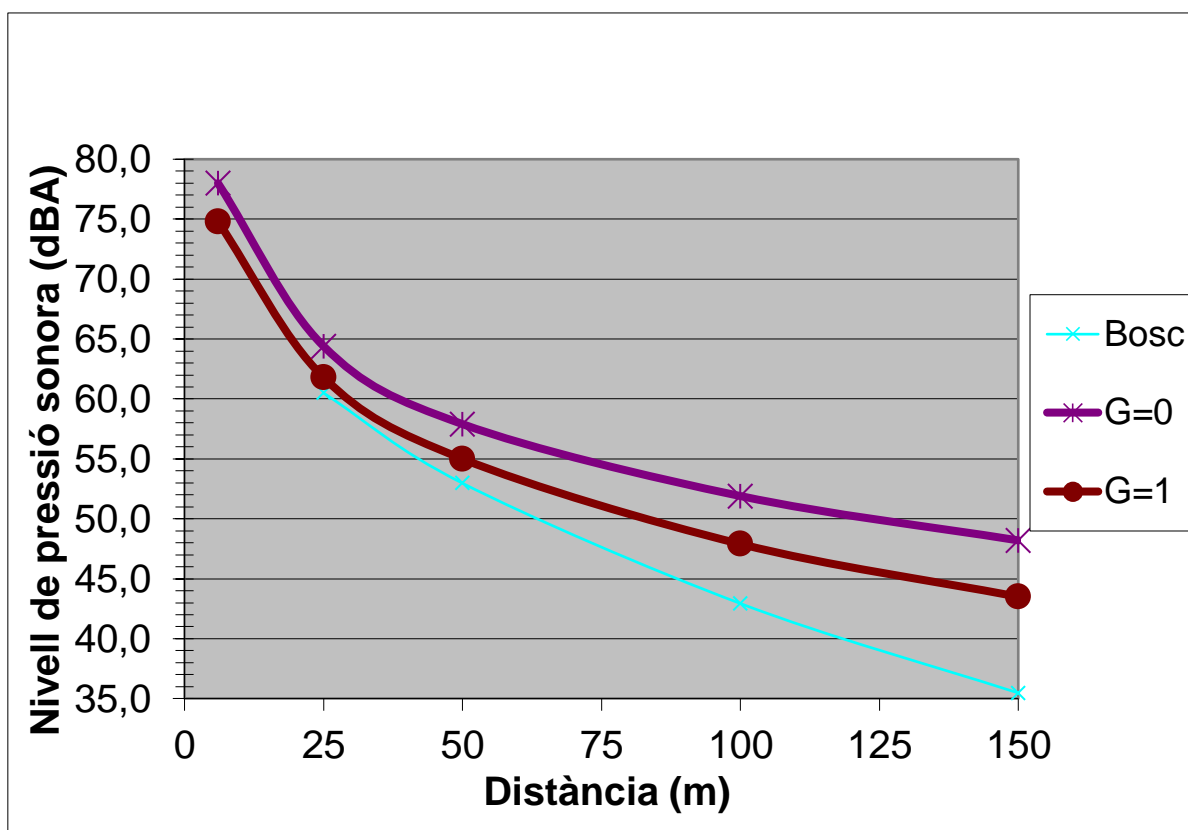


Figura 47: Evolució nivell pressió sonora L10

S'observa que l'evolució del nivell de pressió sonora amb L10 és molt semblant al fet amb nivell equivalent. Per tant, el soroll de fons en aquesta mesura ha intervingut molt poc i no ens influeix. Per tal de veure la diferència entre el nivell equivalent i L10 es mostra la següent taula:

Bosc		
Distància (m)	Equivalent	L10
25	61	60,5
50	53,8	53,0
100	43,7	42,9
150	35,9	35,5

Taula 12: Valors nivell equivalent i L10

Com es pot veure en les dues gràfiques, tant la del nivell equivalent com la de L10, el coeficient d'absorció va molt més enllà de $G=1$. Això ens indica que en els tipus de sòl on hi hagi un bosc abrupte l'absorció serà superior al que ens donaria posant un coeficient de $G=1$ ja que hi ha més factors que hi influeixen i s'ha de tenir en compte.



5.7 Comparació dels sòls estudiats

A partir de l'estudi dels sòls realitzat anteriorment, es pot realitzar una comparativa entre aquests per tal de veure quins d'aquests són més o menys absorbents. Per a realitzar aquesta comparativa es posa en una mateixa gràfica les diferents evolucions de pressió sonora que s'han vist abans.

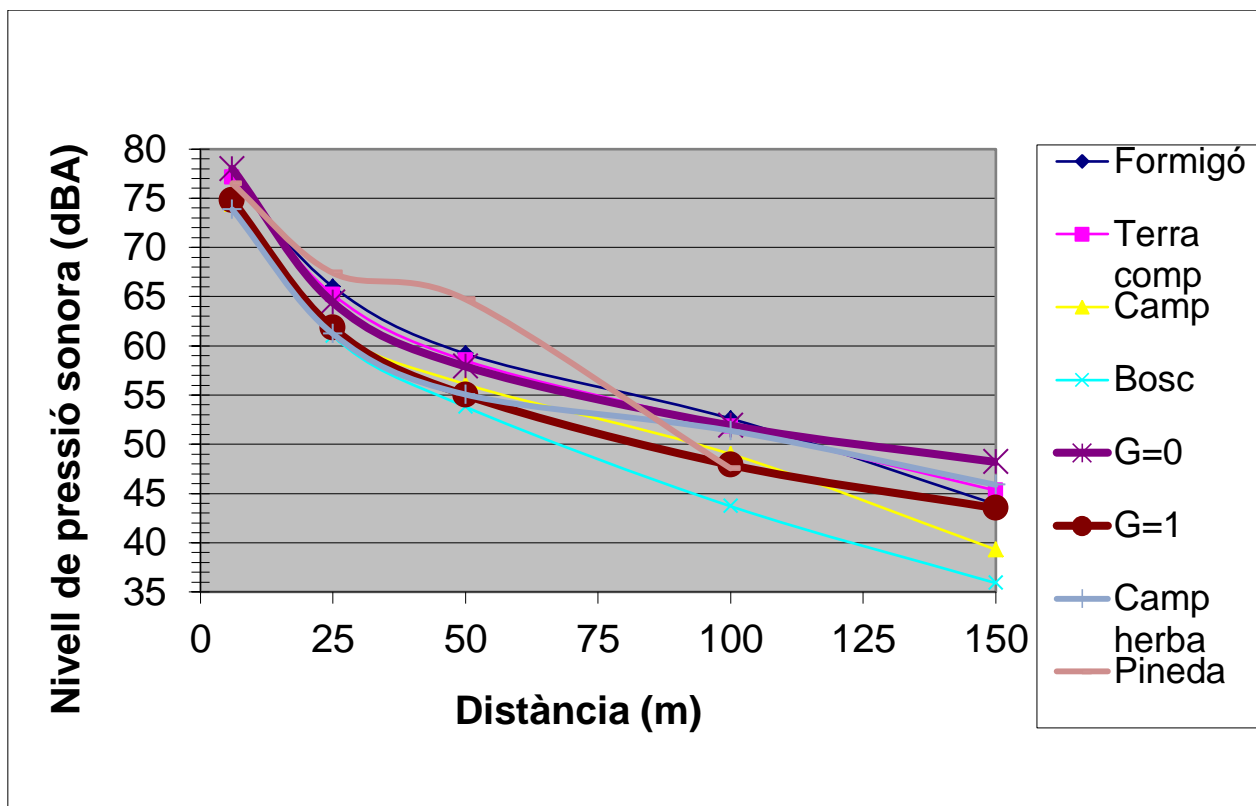


Figura 48: Comparació dels sòls nivell equivalent

En la gràfica de l'evolució del nivell de pressió sonora amb els diferents tipus de sòls s'observa com aquests es divideixen en dos grups depenen de si són molt o pocs absorbents. Així, es veu com no hi ha cap terreny que tingui un coeficient d'absorció mitja excepte en alguns punts de les mesures, és a dir, els terrenys es polaritzen cap a coeficients amb $G=1$ o $G=0$.

Com s'ha fet anteriorment, també s'ha d'observar l'evolució del nivell de pressió sonora amb L_{10} i veure quines diferències es troben en comparació amb el nivell equivalent.

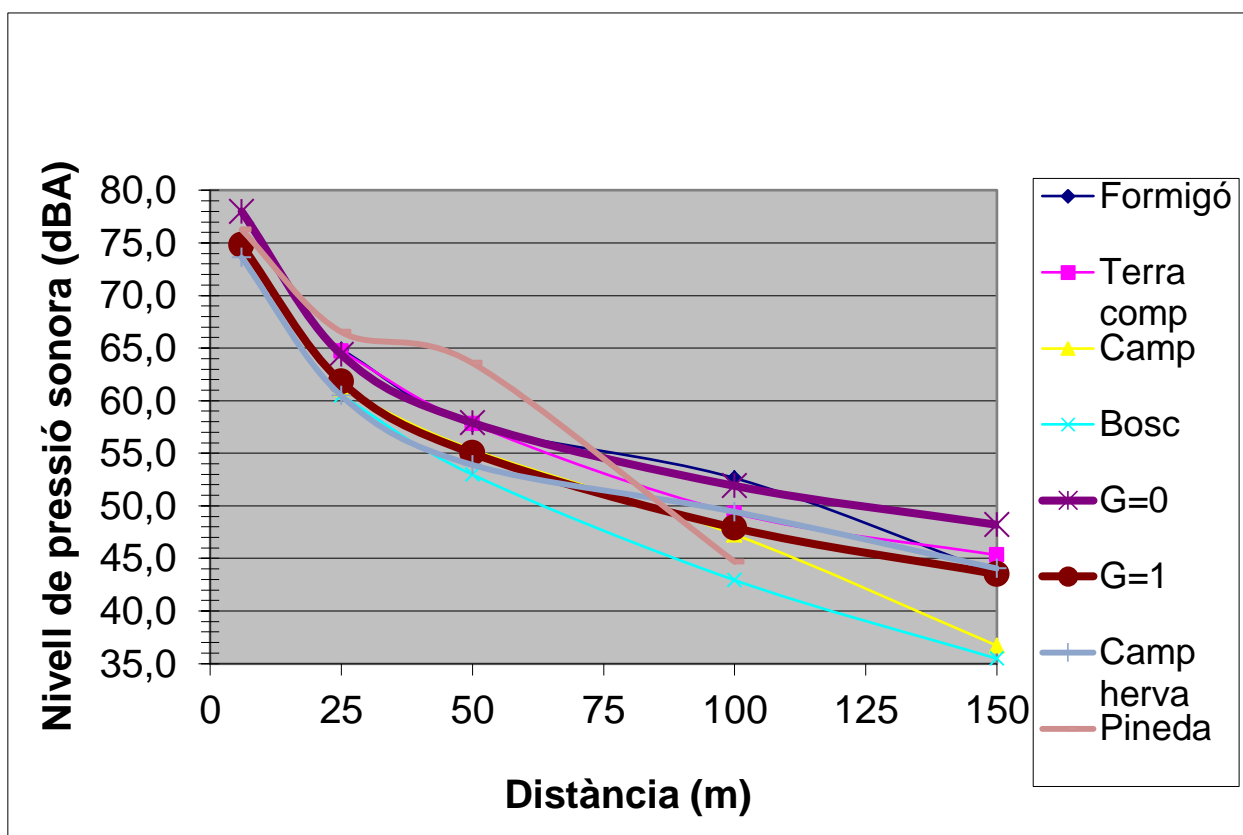


Figura 49: Comparació dels sòls L10

Observant l'evolució del nivell de pressió sonora utilitzant el percentil L10, s'observa com la majoria de les corbes baixen una mica però res destacable. Així es pot considerar que tant el nivell equivalent com el percentil L10 són iguals.

Malgrat que es pot obtenir el coeficient d'absorció per a cada distància, el que realment es vol es obtenir un coeficient per utilitzar-lo per a qualsevol distància. Aquest fet es pot realitzar ja que per a les distàncies de 6 metres fins a 100 metres el coeficient d'absorció més o menys es pot considerar que no varia gaire. La distància de 150 metres no es considera perquè a aquesta distància es creu que la potencia sonora de la font no es prou alta i els resultats no serien els més fiables ja que es podrien contaminar amb el soroll de fons. No obstant, al realitzar un coeficient d'absorció global s'estarà produint un error en cada punt que s'haurà d'avaluar.

Conseqüentment del que s'ha mencionat anteriorment, s'ha de realitzar uns càlculs per tal d'obtenir uns valors de coeficient d'absorció global i poder consensuar de que els tipus de terreny es polaritzen en el coeficient d'absorció igual a 0 o 1. Aquest coeficients globals es poden veure en el següent subapartat on s'explica els càlculs que es realitzen.



5.8 Optimització del coeficient d'absorció

El coeficient d'absorció es de gran utilitat si es pot donar un valor global per a qualsevol distància sempre i quan el terreny sigui el mateix. No obstant, s'haurà de tenir present que al donar un coeficient global es comet un error en cada punt que s'ha d'avaluar. Per aquest motiu es desenvolupa com es tracten les diverses dades per tal de donar un valor que tingui el mínim error. Primer de tot s'ha de tenir les dades dels diferents terrenys:

MESURA DELS dBA EN ELS DIFERENTS TERRENYS								
Distància (metres)	Formigó	Terra Comp.	Camp	Bosc	Camp herba	Pineda	G=0	G=1
6	77,1	77,1	74,4	75,2	73,86	76,47	78	74,8
25	66	65,2	61,7	61	61,21	67,40	64,4	61,8
50	59,2	58,5	56,1	53,8	55,05	64,72	57,9	55
100	52,6	51,8	49	43,7	51,37	47,55	51,9	47,9
150	43,9	45,3	39,3	35,9	45,87		48,2	43,5

Taula 13: Mesura dels dBA dels terrenys

D'aquestes dades, no es tindran en compte les mesures de la distància de 150 metres pel comentat anteriorment. De les altres dades el que es realitza és una interpolació lineal entre el G=0 i G=1.

COEFICIENTS D'ABSORCIÓ INTERPOLATS						
Distància (metres)	Formigó	Terra Comp.	Camp	Bosc	Camp herba	Pineda
6	0,28	0,28	1,13	0,87	1,30	0,48
25	-0,62	-0,31	1,04	1,31	1,23	-1,15
50	-0,45	-0,21	0,62	1,41	0,98	-2,35
100	-0,18	0,03	0,73	2,05	0,13	1,09

Taula 14: Coeficients d'absorció

En la taula dels coeficients d'absorció interpolats a partir de les diferències entre els valors reals i els simulats amb coeficients d'absorció 0 i 1, s'observa com hi ha valors que no estan entre la franja dels valors que s'han donat pel coeficient d'absorció (entre G=0 i G=1). Aquest fet és així perquè els valors de referència de G=0 i G=1 s'agafen del programari Cadna donant la potència sonora de la font i el grup i així obtenint aquestes referències. Dins d'aquests valors que dona el programari Cadna, hi pot haver una desviació de dècimes de decibels. No obstant, si realitzant la mitjana ens surt un nombre negatiu molt proper a 0 o un nombre més gran que 1 però molt proper a 1 s'aproximarà a aquests valors.



Realitzant les mitjanes aritmètiques s'obté el següents valors per a cada terreny estudiat:

COEFICIENTS OPTIMITZATS		
Terreny	Mitjana	Valor acceptat
Formigó	-0,24	0
Terra comp	-0,05	0
Camp	0,88	0,88
Bosc	1,41	1
Camp herba	0,91	0,91
Pineda	-0,48	no acceptat

Taula 15: Coeficients optimitzats

Si es realitza el mateix procediment amb el L10 s'obtenen els següents valors del coeficient d'absorció:

COEFICIENTS OPTIMITZATS L10		
Terreny	Mitjana	Valor acceptat
Formigó	0,01	0
Terra Comp.	0,23	0,23
Camp	1,12	1
Bosc	1,60	1
Camp herba	1,22	1
Pineda	-0,11	no acceptat

Taula 16: Coeficients optimitzats L10

Observant les taules, tant la del nivell equivalent com la del L10, s'observa com hi ha un grup de terrenys que el seu coeficient d'absorció s'aproxima molt a 0 mentre que l'altre a 1. Això ens indica que o els terrenys són molt absorbents o molt reflectants, és a dir, els terrenys es polaritzen.

També cal mencionar que el coeficient d'absorció del terreny tipus pineda no s'accepten les dades ja que es sospita que el comportament que dona les dades no s'ajusta estrictament a l'absorció per sol i hi ha algun altre efecte important que no s'identifica a priori.

Una vegada ja es té els coeficients d'absorció global es valorarà l'error que es té en utilitzar el valor obtingut amb el valor que ens dona el coeficient d'absorció en el punt en qüestió:



Errors d'utilitzar G global envers G individual (dB)					
Distància (metres)	Formigó	Terra Comp.	Camp	Bosc	Camp herba
6	0,13	1,07	0,79	-1,72	1,23
25	-2,22	-0,66	0,42	-0,27	0,83
50	-1,99	-0,45	-0,74	0,01	0,21
100	-1,66	0,31	-0,61	2,55	-3,11

Taula 17: Errors

Observant els valors obtinguts es veu com hi ha de positius i de negatius. Els errors positius ens indica que el valor utilitzant la G optimitzada està per sobre del valor en la mesura. En canvi, si l'error és negatiu, significa que el valor utilitzant la G optimitzada està per sota del valor en la mesura.

A part de l'incís del signe, observant els resultats es veu com en que la diferència màxima es troba a una distància més elevada (camp herba) i que el valor de la mesura està per sota del valor amb la G optimitzada. No obstant, per extreure més conclusions es realitzarà la mateixa taula però amb L10.

Errors d'utilitzar G global envers G individual (L10 - dB)					
Distància (metres)	Formigó	Terra Comp.	Camp	Bosc	Camp herba
6	1,23	0,37	0,18	-2,09	0,49
25	-0,43	-0,90	0,40	-0,25	0,75
50	0,17	-0,55	-0,72	0,30	0,47
100	-0,68	1,68	0,15	2,58	-2,41

Taula 18: Errors amb L10

Els valors obtinguts en el L10 són molt semblants als obtinguts en el nivell equivalent ja que les diferències es mouen en els mateix interval de valors.

Observant tant els valors del nivell equivalent com els de L10 les diferències no superen en cap cas els 3 decibels, aquest marge d'error és el típicament acceptat com a error màxim en models predictius, que en algun cas de model molt detallat, es requeriria un error màxim de 2 dB. L'error que incorpora la simulació de l'efecte sòl és important, però en la majoria de casos no seria superior als valors mencionats.

Així es pot considerar que realitzar un valor optimitzat de G és bona idea sempre i quan es tingui en compte que hi ha un error i que aquest error és més petit com més a prop estiguem de la font d'emissió. Així doncs, quan es realitzi una simulació utilitzant el valor de G optimitzat i global s'haurà de tenir present aquests errors i tenir un valor aproximat del seu valor, sobretot per comprometre errors màxims de model relativament baixos.



6. CONCLUSIONS

Del treball realitzat se'n pot extreure varies conclusions. Aquestes conclusions es mostraran tot seguit enumerant-les i explicant-les i donant especial èmfasi a la utilitat pràctica dels resultats d'aquest projecte

La primera és la variabilitat del coeficient d'absorció amb la distància. Aquesta variabilitat es pot veure en la interpolació que es fa en els coeficients d'absorció. A l'hora de fer qualsevol càlcul s'haurà de tenir present que aquest fet succeeix i l'error que produeix utilitzar un coeficient d'absorció global, que normalment es trobarà per sota dels 2 dB.

A part de tenir present aquest error sobre la variabilitat del coeficient d'absorció, existeixen altres errors que poden realitzar-se si en comptes d'utilitzar un coeficient d'absorció correcte es tria un coeficient d'absorció o reflexió perfecte ($G=0/G=1$) amb un terra que hauria de tenir un altre coeficient. Això és el que anomenarem error màxim i es el que es pot veure en la següent taula.

Distància (metres)	Errors màxim (dB)									
	Formigó		Terra comp.		Camp		Bosc		Camp herba	
	G=0	G=1	G=0	G=1	G=0	G=1	G=0	G=1	G=0	G=1
6	-0,90	2,30	-0,90	2,30	-3,60	-0,40	-2,80	0,40	-4,14	-0,94
25	1,60	4,20	0,80	3,40	-2,70	-0,10	-3,40	-0,80	-3,19	-0,59
50	1,30	4,20	0,60	3,50	-1,80	1,10	-4,10	-1,20	-2,85	0,05
100	0,70	4,70	-0,10	3,90	-2,90	1,10	-8,20	-4,20	-0,53	3,47

Taula 19: Errors màxim nivell equivalent

Observant la taula, es pot veure que l'error màxim es produeix en el tipus de terreny bosc. Això és així perquè com s'ha mencionat el bosc produeix més atenuació a causa de que hi ha més impediments i això ens fa que a distàncies llargues el nivell baixi molt. A part del terreny tipus bosc que és on es té més error, també hi ha errors considerables que no es poden menysprear. Així doncs, no es podrà donar un coeficient global de $G=0$ o $G=1$ sense tenir present la morfologia del terreny perquè l'error que ens produeix pot ser important i no es pot considerar acceptable.

Un terreny especial, com s'ha mencionat, és el tipus bosc. En aquest terreny no es podrà donar només un coeficient d'absorció $G=1$ perquè sinó es realitzaria un error gran. Així quan es tingui aquest terreny, s'haurà de tenir present altres atenuacions per tal de no sobreestimar els nivells.



Un altre efecte del coeficient d'absorció que s'ha comentat abans però que és molt important és l'efecte de l'alçada en el coeficient d'absorció. En les simulacions fetes amb el programari Cadna es pot veure com a una alçada superior a tres metres l'efecte d'absorció del terra no té repercussió en el nivell, no així, l'efecte de reflexió, que la seva influència es creixent en funció de la distància. Per tant l'efecte d'absorció en receptors elevats (com per exemple blocs de pisos) sol ser menystenible, no així l'efecte de reflexió en el sòl, que dependrà de la distància a la font de soroll. Això es veu en la següent figura.

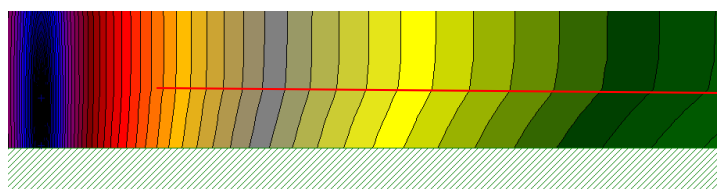


Figura 68: Efectes alçada $G=1$

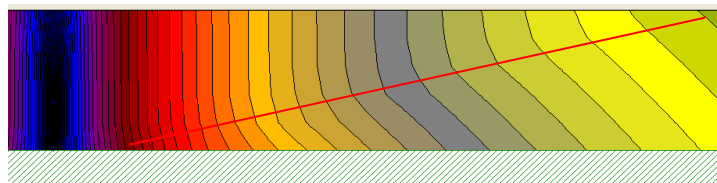


Figura 69: Efectes alçada $G=0$

A part de les conclusions extretes, es vol valorar, també, el coeficient d'absorció en diferents terrenys. Aquest coeficients són els següents:

COEFICIENTS OPTIMITZATS		
Terreny	Mitjana	Valor acceptat
Formigó	-0,24	0
Terra comp	-0,05	0
Camp	0,88	0,88
Bosc	1,41	1
Camp herba	0,91	0,91
Pineda	-0,48	no acceptat

Taula 19: Coeficients optimitzats






Només es mostren els coeficients d'absorció optimitzats en nivell equivalent perquè es considera que aquests i els del L10 no aporta una informació significativament diferent i a la practica els càlculs predictius es basen en nivells equivalents de soroll. Així doncs, els coeficients optimitzats en nivell equivalent es consideren els correctes.



Amb aquests coeficients es veu com es polaritzen i que hi ha uns terrenys amb coeficient igual a 0 i uns altres amb coeficient igual a 1. Això s'ha de tenir molt en compte perquè saben com és la morfologia del terreny es podrà determinar aproximadament el valor sense tenir molt d'error.

Des d'un punt de vista pràctic, i segons la norma ISO 9613, la recomanació que es fa, a l'hora de decidir els coeficients d'absorció del sòl, respecte les tipologies analitzades és el que es mostra a la següent taula:



Tipus de sòl	Aspecte	Comportament	Coeficient d'absorció
Formigó		Reflectant	0
Terra compacte		Reflectant	0
Camp		Absorbent	0,88
Camp herba		Absorbent	0,91
Bosc		Absorbent	1

Taula 20: Resum dels coeficients d'absorció depenen del terreny



7. RECOMANACIONS

Una vegada realitzat el present projecte, es té les eines suficients per tal de poder donar varies recomanacions de com s'ha d'utilitzar el coeficient d'absorció.

Primerament, s'ha de tenir present sempre quin tipus de terreny es té i quina morfologia té aquest. Una vegada ja es sap quin terreny es té, es donarà un coeficient proper a 0, si la morfologia del terreny es amb una densitat elevada i el terreny està compactat, mentre que si es té un terreny més tou o amb irregularitats es donarà un coeficient d'absorció proper a 1. Els valors de 0 i 1 poden ser útils com a primera aproximació, però dins el marc d'aquest estudi, es recomana la utilització dels coeficients òptims identificats segons el tipus de terreny.

Un altre factor que s'haurà de tenir en compte és a l'alçada a la que es voldrà determinar el valor del nivell de pressió sonora. Si aquest és un lloc elevat de més de tres metres no s'utilitzarà cap coeficient d'absorció, metre que si és a una alçada baixa s'haurà de tenir present el coeficient d'absorció. En cas d'efecte de reflexió, es recomana tenir-la sempre en compte.

Per últim, s'ha de tenir present que si entre el focus d'emissió i el punt on es vol captar el nivell de pressió sonora hi ha un bosc, s'haurà de considerar altres atenuacions a part del coeficient d'absorció perquè el coeficient d'absorció igual a 1 dona un valor més elevat que el que hauria de ser.



8. RESUM PRESSUPOST

L'estudi econòmic d'execució d'aquest estudi suma la quantitat de QUATRE MIL CENT QUARANTA-VUIT EUROS (4.148 €) i sumant-t'hi el 9% en concepte de benefici industrial i 21% d' IVA, s'obté un total de CINC MIL QUATRE-CENTS SETANTA-UN EUROS (5.471 €).



9. BIBLIOGRAFIA

Conceptos basicos del ruido ambiental (2013).

<http://sicaweb.cedex.es/docs/documentos/Conceptos-Basicos-del-ruido-ambiental.pdf>

<http://engines.honda.com/models/model-detail/gx270>

Deltell Carbonell, A (2012). Acústica ambiental bàsica. Bases Físiques. Apunts procedents de UdGMoodle

Deltell Carbonell, A (2012). Acústica ambiental bàsica. Bases Físiques. Apunts procedents de UdGMoodle

Deltell Carbonell, A (2012). Acústica ambiental bàsica. Propagació a l'ambient. Apunts procedents de UdGMoodle.

Wolfgang Probst, F (2011). Validation of calculation methods for sound propagation outdoors, proceedings *Nois-Con*. Portland, Oregon.

Leo L. Beranek, István (1992). *Noise and vibration control engineering: principles and applications*. Ed. Wiley and Sons. Nova York

Crocker, Malcom J (1998). *Handbook of acoustics*. Ed. Wiley and Sons. Nova York